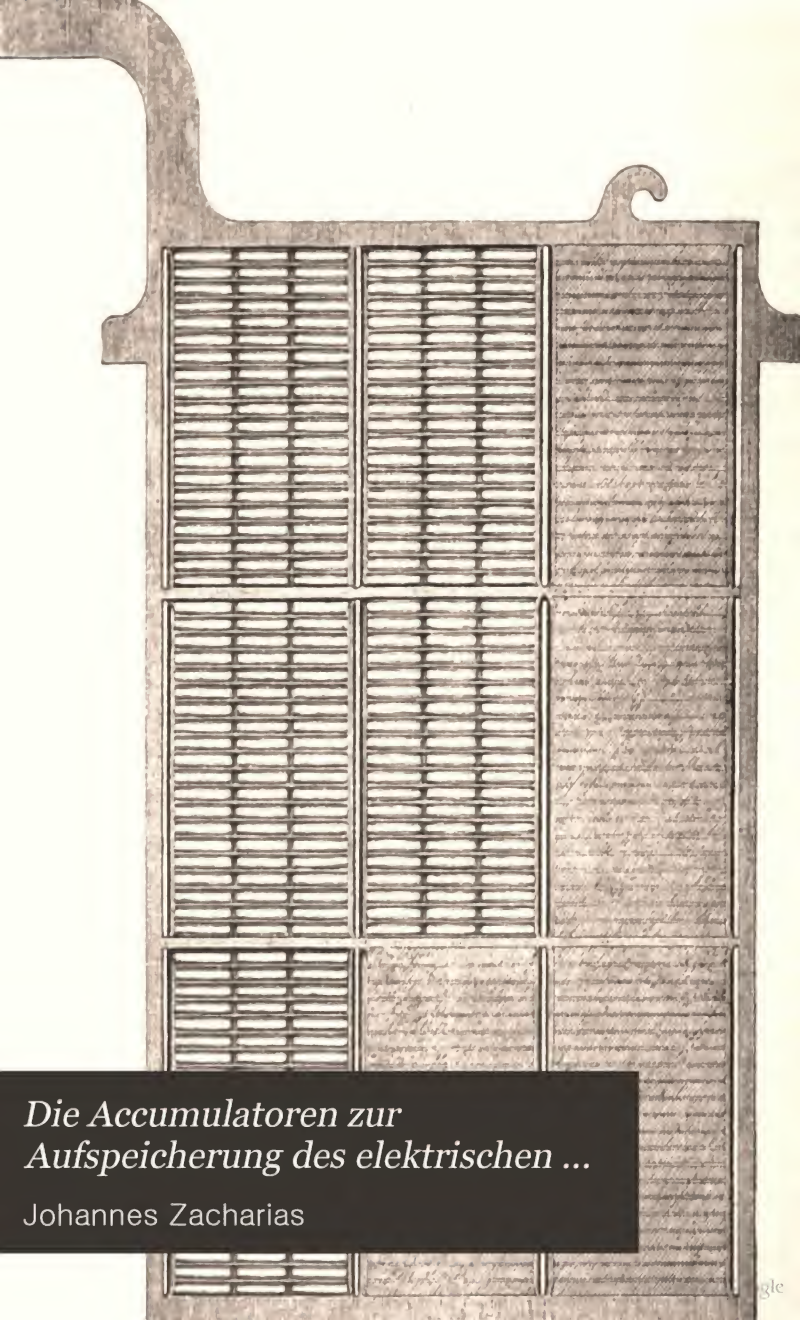


Die Accumulatoren zur Aufspeicherung des elektrischen ...

Johannes Zacharias

7470

Charles J. Chandler. Ph. D.

VGH

6524

QC605
.Z2

VGH

Digitized by Google

Digitized by Google

Die

Accumulatoren.

Digitized by Google

Die

Accumulatoren

zur

Aufspeicherung des elektrischen Stromes

deren

Anfertigung, Verwendung und Betrieb

von

Johannes Zacharias,
Ingenieur.

Mit 110 Illustrationen.

C.F.CHANDLER

Jena,
Hermann Costenoble.
1892.

6524
Digitized by Google

Accumulators
Storage batteries

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
311215B
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R 1945 L

QC 605
.Z1

Digitized by Google

Vorwort.

Die Herstellung der Aufspeicherungsbatterien (Accumulatoren) hat sich in den letzten zehn Jahren durch bedeutende Fortschritte zu einer ansehnlichen Industrie entwickelt, welche lange Zeit allein auf England beschränkt blieb, nunmehr jedoch auch in Deutschland, Frankreich und Nordamerika einen bedeutenden Aufschwung genommen hat und heute sogar allgemein auf einer gewissen kommerziellen Basis steht. Die bis heute erzielten Erfolge sind das Resultat unabläßiger Arbeit und großer Geldopfer. In der ersten Entwickelungsperiode machte man hauptsächlich in der Behandlung der Platten Fehler; nachdem man endlich gelernt hatte, Ladung und Entladung zu handhaben, verbesserte man die Konstruktionen und Bestandteile. Kleine und unscheinbare, jedoch bedeutsame Schritte, große Anstrengungen und viel unnötige Arbeit haben die Accumulatoren in ein Stadium der Vervollkommnung gelangen lassen, daß wohl in nächster Zeit eine gewisse Stetigkeit in den zu verfolgenden Prinzipien eintreten wird.

Was jedoch die Erkenntnis der chemischen Vorgänge betrifft, so ist derselben ein befriedigender Abschluß gegeben. Die Wichtigkeit und das Verlangen nach einer ökonomischen und praktischen Aufspeicherungsbatterie ist von allen, die sich mit denselben beschäftigt haben, erkannt worden; auch hat man gefunden, daß die Art und Weise der Aufspeicherung, welche ja eine große Bequemlichkeit in sich birgt, die Verluste aufwiegt, die mit der Umwandlung der Energie des elektrischen Stromes in chemische Vorgänge und mit der Gewinnung von elektrischem Strom durch Rückbildung dieser Vorgänge verbunden sind. Außer diesen Energieverlusten sind noch die hohen Anschaffungskosten und die Abnutzung der positiven Platten einer allgemeinen Anwendung entgegen. Jedoch auch in dieser Beziehung hat man bedeutende Fortschritte zu verzeichnen, und es wird sich im weiteren Verlaufe dieser Arbeit zeigen, wie weit etwaige Bedenken in dieser Beziehung zu rechtfertigen sind.

45 X 1 5 9

Digitized by Google

Da bis heute ein Buch über Accumulatoren, welches lediglich der Praxis gewidmet ist und alle einschlägigen Fragen möglichst ausführlich behandelt, überhaupt noch nicht existiert, so haben es Verfasser und Verleger unternommen, ein Werk herauszugeben, das zunächst den Weg beschreibt, auf welchem man zu den heutigen Erfolgen gelangt ist, das ferner das hervorhebt, was heute hauptsächlich in Anwendung steht und ferner eine möglichst ausführliche Darstellung über die Anwendung und Behandlung der Accumulatoren bietet. Es liegt in der Natur der Sache, daß ein erstes Werk über diesen Stoff noch Mängel und Lücken aufweist, und obgleich der Verfasser sich an zahlreiche Fabriken mit der Bitte gewendet hat, ihn bei diesem Unternehmen freundlichst unterstützen zu wollen, so ist es ihm doch nicht gelungen, von allen die gewünschten Angaben zu erhalten. Allen denen jedoch, welche in zuvorkommendster Weise das Unternehmen unterstützt haben, sage ich hiermit meinen verbindlichsten Dank, insbesondere meinen Freunden Anthony Reckenzaun und L. Epstein in London, sowie Herrn Jahr in Opladen, der mir manche wichtige Mitteilung für diese Arbeit hat zukommen lassen. Mögen die Herren Fachgenossen das Werk mit Wohlwollen aufnehmen und eine Vervollkommnung in späterer Zeit freundlichst unterstützen.*)

*) Schon im Jahre 1887 faßte ich mit meinem Freunde Herrn Anthony Reckenzaun in London den Plan, ein Buch über Accumulatoren herauszugeben und in demselben seine practical notes aus Electrical Review von 1886/88 sowie unsere im einzelnen und gemeinsamen gemachten Erfahrungen zu einem ausführlichen Handbuch zu verarbeiten, welches gleichzeitig englisch und deutsch erscheinen sollte. Unsere praktische Thätigkeit verhinderte die Ausführung dieses Planes, jedoch hat mir Herr Reckenzaun sein ganzes Material, das ich größtenteils schon besaß, nunmehr zur Verfügung gestellt. Desgleichen wurde ich durch den mir befreundeten Herrn J. Sack, früher kaiserl. Telegraph. Direktor, insofern unterstützt, als er mir verschiedene Arbeiten und auch die Korrekturspalten seines im Erscheinen begriffenen Buches über Accumulatoren, A. Hartleben, Wien 1892, zur Verfügung stellte. Aus dem letzteren habe ich insbesondere die ausführliche Darstellung über die Benützung der Accumulatoren in der Telegraphie entnommen, da ich einen competenteren Autor über diesen Gegenstand wohl nicht finden konnte.

Berlin, im Juli 1892.

Johannes Zacharias.

Digitized by Google

Inhalt.

Seite

Vorwort IV

Geschichtliches XIII

Einleitung 1

I. Wirkungen des elektrischen Stromes 5

1. Wasserzersetzung, das elektrochemische Äquivalent 5
2. Galvanoplastik 6
3. Aufspeicherung des elektrischen Stromes im allgemeinen 8
   a. durch gewöhnliche Metallsalzlösungen 8
   b. durch Elektrolin 9
   c. durch Bleiplatten 10
   d. durch präparierte Bleiplatten 12
4. Zur Chemie der Accumulatoren 12
   Allgemeines 12
   Geschichtliches . . . . . XII. 1
   Untersuchungen von Farbaky und Schenek 14
   „ „ Ayrton, Lamb und Smith 16
   „ „ Strecker 24
   „ „ Jahr 28

II. Konstruktion der Accumulatoren 31

1. **Ältere Konstruktionen.** Ch. Kirchhoff 31
   Planté 13. 35. 89
   Camille Faure 34
   Electrical Power Storage Company 35
   Julien 36
   Léon Somzée 37
   John Scudomore Sellon 38
   Dr. Arons Metallodium 38

2. **Neuere Konstruktionen.** J. L. Huber 39
   Erich Correns 40
   Wilson Swan 41
   Gottfried Hagen 42
   de Khotinsky 42
   Henri und Hubert Tudor 51
   Schöller und Jahr 56
   A. Reckenzaun 59
   L. Epstein 61
   Eduard Heyl 65
   W. Main 68
   Ch. Pollack 71

Digitized by Google

Seite

III. Die Konstruktion der Zellen 75
Isolierung und Aufstellung der Platten 77. 78
Material der Zellen 78
Taschen-Accumulatoren 78
Transportable Zellen 81
Zur Beleuchtung und Betrieb von Fahrzeugen 79

IV. Vergleich einiger Systeme 116. 81

V. Die Herstellung der Platten 83
Gitterplatten 89. 83
Planté-Platten 59
Platten mit massiver Zwischenwand 90
Einrichtung einer Fabrik, das Formieren 88

VI. Nutzeffekt, Haltbarkeit, Verhältnisse 92
1. Energieverlust 93
2. Kapazität 95
3. Verhältnis der aktiven Masse zur Kapazität 96
a. bei Zellen für Fahrzeuge 97
b. bei Zellen für stationäre Zwecke 98
4. Elektromotorische Kraft 99
5. Einfluß des Entladeverhältnisses auf die nutzbare Kapazität und Spannung 100
6. Energie 102
7. Verhältnis zwischen der aufgespeicherten Energie und der aktiven Masse 103
8. Unterbrochene Entladung 103
9. Innerer Widerstand 104
10. Nutzeffekt 105
11. Graphische Darstellung der Vorgänge 107
Sinken der Spannung und Stromstärke 107
Sulphatbildung 110
12. Stärke der Säure 110
13. Erholen bei unterbrochener Entladung 114
14. Verhältnis der aktiven Maße zur Säure 115
15. Leistung verschiedener Systeme 116

VII. Die Verwendung der Accumulatoren 119
1. **Zur Beleuchtung** 119
Allgemeines 119. 126
Betriebsergebnisse, Nutzeffekt 120
Ergebnisse in Barmen, Dessau, Hannover, Kensington Court, Davies Station 122
Leitungsquerschnitte für große Entfernungen 123
Ausführliche Mitteilungen der Ergebnisse in Dessau 128
Ergebnisse des 5jährigen Betriebes in Dessau 126
Güteverhältnis von Anlagen 130
Berechnungen für das Elektrizitätswerk Düsseldorf 133
Berechnung einzelner Anlagen 140

Digitized by Google

Seite

2. **Zum Betrieb von Fahrzeugen; Betriebsverhältnisse** 146
1. Wirkung der Gegenelektromotorischen Kraft des Motors auf die Stärke der Entladung 146
2. Wirkung der Gegenspannung der Batterie auf die Ladedynamo 147
3. Wachsen der Spannung beim Laden 148
4. Accumulatoren-Batterie als Regulator 152
5. Analogie zwischen hydraulischen und elektrischen Accumulatoren 154
6. Ausdehnung der Oxyde und Krümmen der Platten 158
7. Haltbarkeit der Accumulatoren 159
8. Haltbarkeit und Vergeudung von Energie 160
9. Änderung der Säuredichte bei verschiedenen Temperaturen . . 161
10. Wirkung der Säuredichte auf die Spannung 164
Chemische Änderungen 165
Säuredichte und Widerstand 165
11. Wirkung der Temperatur auf die Spannung 166
12. Versuche mit Straßenbahnzellen 167
Wirkung des Zustandes der Schienen 172
Wirkung des Schnees auf die Zugkraft 174
13. Betrieb elektrischer Boote 179
Wirkung der Steigung der Schiffsschraube auf die Stärke der Entladung 182

3. **Transportable Zellen** 183
In Häusern, auf Eisenbahnen, für militärische Zwecke.
Für ärztliche Zwecke.
Für Operationen, Zahnärzte, Elektrisieren.

4. **Im Telegraphenbetriebe** 185

VIII. Die Schaltungen 196
Für Ladung und Entladung 198

IX. Die Schaltapparate und Umschalter 207

X. Aufstellung, Behandlung und Betrieb 216
Gestelle, Zellen, Platten, Säure, Ladung, Entladung.

XI. Untersuchung der Zellen 231

XII. Die Anwendung der Accumulatoren im Großbetriebe von Straßenbahnen 240

Schluß 245

Anhang 248
Maße und Gewichte.

Alphabetisches Inhaltsverzeichnis 250

Digitized by Google

Verzeichnis der Abbildungen.

Seite

1. Kurven von Ayrton ꝛc 17
2. Kurven von Ayrton ꝛc. 17
3. Werkzeug beim Untersuchen 17
4. Werkzeug beim Untersuchen 17
5. Kurven bei Versuchen 19
6. Kurven bei Versuchen 19
7. Verbindungen beim Messen 20
8. Verbindungen beim Messen 20
9. Verbindungen beim Messen 20
10. Kurven 21
11. Kurven 22
12. Zelle von Faure 34
12a. Zelle von Faure 34
12b. Zelle von Faure 34
13. Platte der E. P. S. Company 36
14. Platte der E. P. S. Company 36
15. Platte von Somzée 37
16. Platte von Sellon 38
17. Platte von Huber 39
18. Platte von Huber 40
19. Platte von Correns 41
20. Platte von Correns 41
21. Platte von Swan 41
22. Platte von Swan 41
23. Platte von G. Hagen 42
24. Platte von G. Hagen 42
25. Platte von de Khotinski 46
26. Platte von de Khotinski 46
27. Platte von de Khotinski 46
28. Platte von de Khotinski 46
29. Platte von de Khotinski 46
30. Gepreßte Elektrodenstreifen 47
31. Gepreßte Elektrodenstreifen 47
32. Gepreßte Elektrodenstreifen 47
33. Gepreßte Elektrodenstreifen 47

Digitized by

		Seite
34.	Schnitt durch eine Zelle	47
35.	Positive Elektroden	49
36.	Negative Elektroden	49
37.	Neues Model der Elektroden	50
38.	Tudor Platte	52
39.	Tudor-Platte	52
39a.	Tudor-Platte, Aufbau	53
40.	Accumulator Oerlikon	55
41.	Accumulator Oerlikon	55
42.	Schöller und Jahr, Platte mit Querschnitt	57
43.	Reckenzaun's Platte	60
44.	Reckenzaun's Platte	61
45.	Epsteins Platte	63
46.	Epsteins Platte	63
47.	Epsteins Zelle	63
48.	Heyl's Accumulator	66
49.	Heyl's Accumulator	67
50.	Heyl's Accumulator	67
51.	Heyl's Zelle	67
52.	W. Main's Accumulator	68
52a—d.	Pollacks Accumulator	72
53.	Metzgers Zelle	76
53a.	Metzgers Zelle	76
54.	Schöller und Jahr, Aufbau der Platten	77
55.	Straßenbahnzellen	79
56.	Straßenbahnzellen	79
57.	Transportable Zellen	89
57a.	Schaltungen für den Meßtisch	91
58.	Entladungskurven	108
59.	Entladungskurven	108
60.	Entladungskurven	108
61.	Kurven des spezf. Gewichts	112
62.	Kurven der unterbrochenen Entladung	114
63.	Kurve des Nutzeffekts nach Hering	118
64.	Kurve des maxim. belasteten Tages	133
65.	Kurve des Steigens der Spannung	149
66.	Ladungskurven	150
67.	Ladungskurven	151
68.	Ladungskurven	152
69.	Regulierung der Dynamos beim Laden	156
70.	Kurve der Änderung der Säuredichte	162
71.	Energie-Verbrauch nach Huber	176
72.	Energie-Verbrauch nach Huber	178
73.	Zellen für Telegraphenbetrieb nach Tudor	187
74.	Zellen für Telegraphenbetrieb nach Tudor	187
75.	Zellen für Telegraphenbetrieb nach Tudor	187
76.	Zellen für Telegraphenbetrieb nach Correns	188
77.	Zellen für Telegraphenbetrieb nach Correns	188
78.	Zellen für Telegraphenbetrieb nach Correns	188
79.	Schema für reine Parallelschaltung mit Einfachzellenschalter	198

Digitized by Google

Seite

80. Schema für reine Parallelschaltung mit Doppelzellenschalter 199
81. Schema für reine Parallelschaltung mit einfachem Zellenschalter ohne mitbrennen von Lampen 200
82. Schaltung des Spannungsmessers 202
83. Schaltbrettschema 204
84. Schaltung beim Laden mit Wechsel- und Gleichstrom 205
85. Schaltung beim Laden mit Compounddynamo 206
86. Unterbrecher 209
87. Umschalter 209
88. Umschalter ohne Unterbrechung 209
89. Reihenschalter 210
90. Automatischer Ausschalter 210
91. Automatischer Ausschalter 211
92. Umschalter für das Spannungsmesser 212
93. Doppelzellenschalter 213
94. Schaltung am Einfachzellenschalter 214
95. Schaltung am Doppelzellenschalter 215
96. Erdschlußanzeiger 216
97. Holzgestell für die Zellen 218
97a. Holzgestell für die Zellen 217
97b. Holzgestell für die Zellen 218
98. Oelisolator 219
99. Löthapparat 226
100. Löthzange 226

Digitized by Google

Geschichtliches.

Die historische Entwickelung der Accumulatoren ist sehr ausführlich in dem Werke von Ed. Hoppe (Julius Springer, Berlin) dargestellt und hat für die Praxis eigentlich wenig Interesse. Damit jedoch der freundliche Leser auch hierüber wenigstens das Hauptsächlichste findet, mögen die Ausführungen des Herrn J. Sack hier einen Platz haben, wie er sie in seinem Buche über Accumulatoren (A. Hartleben, Wien) gegeben hat. Die der neueren Zeit angehörigen Thatsachen sind am bezüglichen Orte gegeben.

Die ersten Beobachtungen über Polarisation.

Die Ladungssäule von Ritter.

Im Jahre 1801, bezw. 1802 fand der französische Physiker Gautherot, der zuerst die Erscheinungen über die Polarisation oder elektrische Ladung bekannt gab, daß zwei Gold- oder Platindrähte, welche einerseits mit den Polen einer galvanischen (schwachen) Batterie, andererseits mit der Zunge in Verbindung standen, keinen oder nur einen höchst schwachen Geschmack erzeugten, daß diese Drähte aber, wenn sie aus dem Schließungskreis der Batterie ausgeschaltet und untereinander verbunden wurden, einen sehr lebhaften Geschmack auf der Zunge entwickelten.

Ungefähr um dieselbe Zeit bestimmte Ermann die dabei auftretenden Erscheinungen näher in Bezug auf die positiven und negativen Platten.

Unabhängig von dieser von Gautherot nicht weiter erklärten Erscheinung eröffnete Ritter im Jahre 1803 auf eigenem Wege dieses Gebiet neuer Erscheinungen. Mit Rücksicht auf das von ihm entdeckte Gesetz, daß bei der Öffnung des Schließungsbogens einer galvanischen Batterie die vorher stattgehabten Empfindungen in die entgegengesetzten übergehen, daß somit gleichzeitig eine Umkehrung der Polarität stattfindet, erwartete Ritter einen ähnlichen Vorgang bei den Metallen.

Digitized by Google

Anfänglich wurden von Ritter Versuche mit Golddrähten angestellt, welche wie eben angegeben geschaltet waren. Bei der Ausschaltung der galvanischen Batterie wurde nun dasjenige Drahtende, welches an der Zunge vorher den positiven Pol bildete, negativ und der vorherige negative Pol an der Zunge positiv. Auf diese Erscheinungen hin erweiterte Ritter seine Versuche und erbaute auf Grund der Ergebnisse die nach ihm benannte sekundäre Säule.

Dieselbe war derartig eingerichtet, daß mehrere gleichartige Metallplatten durch eine feuchte Tuch- oder Pappscheibenschicht, welche mit Salz-, bezw. angesäuertem Wasser getränkt waren, voneinander getrennt wurden. Die beiden Endplatten standen mit den Polen einer galvanischen Batterie von hoher Spannung in Verbindung und es erfolgte die Ladung der Säule auf einmal, also in einer Reihe. Nach Entfernung der ladenden Batterie und nach Herstellung der Verbindung der Polplatten der Ladungssäule untereinander erzeugte diese einen elektrischen Strom, welcher in seiner Richtung demjenigen der ladenden Partie entgegengesetzt war.

Weitere Forschungen.

Ritter gab bei der Veröffentlichung seiner sekundären Batterie und der damit angestellten Versuche eine das Wesen der Polarisation genau darstellende Erklärung nicht ab, und darin mag wahrscheinlich der Grund gelegen haben, daß die Aufmerksamkeit der Physiker auf diesen hochwichtigen Gegenstand zu wenig angeregt wurde. Es schien daher, als wenn die Sache vergessen sei, bis gegen 1827 (in diesem Jahre gelang Nobili die Darstellung des Bleisuperoxyds mittels des elektrischen Stromes) der Italiener Marianini durch eine Reihe von Versuchen die richtigen Erklärungen für die in der Ritterschen Ladungssäule beobachteten Erscheinungen vorbereitete.

Fast zu derselben Zeit, als Marianini mit seinen Versuchen und Veröffentlichungen begann, hatte auch der Genfer Physiker de la Rive — etwa gegen das Jahr 1827 — das Studium der elektrischen Batterien aufgenommen, und es gelang ihm, obgleich er anscheinend ganz unbekannt mit den früheren Versuchen von Ritter war, ebenfalls jene merkwürdige Eigenschaft der Metalle aufzufinden, unter bestimmten Umständen eine elektrische Ladung anzunehmen, welche Eigenschaft er mit dem Namen des elektrodynamischen Vermögens bezeichnete.

Außer de la Rive beschäftigten sich noch in eingehender Weise die Physiker Pfaff, Matteucci, Wetzlar und mehrere andere mit der Frage der Polarisations- und der Ladungserscheinungen, indessen haben die Versuche dieser Forscher hauptsächlich nur für die Theorie interessante Er-

Digitized by Google

gebnisse geliefert, und es können dieselben daher an dieser Stelle füglich übergangen werden.

*

Nach Verlauf von einigen Jahren, etwa gegen 1844, begegnen wir der Ladungssäule wieder bei den Untersuchungen, welche vom Prof. Poggendorff in sehr eingehender Weise über die Polarisation angestellt wurden. Aus diesen Untersuchungen hat Poggendorff für die Praxis das wichtige Ergebnis gefunden, daß die Ladungssäule, wie groß auch die Anzahl ihrer Elemente ist, mittels eines einzigen galvanischen Elements geladen werden kann, indem er die Elemente sämtlich nebeneinander schaltete und alsdann mit dem ladenden Element verband.

Poggendorff verwandte zur Erreichung einer kräftigen Wirkung platinierte Platinplatten, d. h. Platten, welche mit einem Überzuge von fein verteiltem Platin bekleidet waren. Der Grund für die Verwendung der platinierten Platinelektroden liegt etwa nicht in einer stärkeren Polarisation gegenüber dem blanken Platin, sondern, wie Prof. Poggendorff selbst angiebt, in folgendem:

„Die Stärke des sekundären Stromes wird durch den Widerstand in seiner Bahn, durch die ursprüngliche Größe seiner elektromotorischen Kraft und deren Beständigkeit bedingt. Jene ursprüngliche Größe der Kraft erhalten die Platten (Elektroden) durch die Polarisation und sie äußert sich schon, während die Platten polarisirt werden, durch ihre Rückwirkung gegen den primären Strom. Sowie aber diese Kraft, nach Trennung der Platten von der primären Kette und nach gehöriger Verbindung derselben untereinander, zur freien Thätigkeit kommt, ruft sie an den Platten eine Polarisation in entgegengesetzter Richtung hervor.

Diese in der Ladungssäule entstehende zweite Polarisation muß, falls ein kräftiger sekundärer Strom erzeugt werden soll, entweder unterdrückt oder so viel als möglich geschwächt werden. Es muß also, um eine sekundäre Batterie von großer Wirksamkeit zu erhalten, dieselbe so beschaffen sein, daß der Wasserstoff, welchen ihr Strom an denjenigen Platten zu entwickeln sucht, die mit dem Platin der primären Kette verbunden waren und demgemäß Sauerstoff empfingen, fortgenommen oder an seiner Entbindung gehindert werde.

Dieses geschieht aber durch das Platinieren, da jener Überzug vermöge der bekannten Eigenschaft des feinen, verteilten Platins den Wasserstoff, welchen der sekundäre Strom an denjenigen Platten zu entwickeln sucht, an denen der primäre Strom Sauerstoff ablagerte, in seinem Entstehungsaugenblick mit dem von dem Hauptstrom daselbst entbundenen Sauerstoff zu Wasser vereinigt. Blankes Platin, besonders wenn es

Digitized by Google

vorher durch Kochen mit Salpetersäure und nachheriges Abspülen im Wasser ohne Trocknen gut gereinigt worden, besitzt zwar auch diese Eigenschaft, jedoch lange nicht in einem so hohen Grade als platiniertes; daher ist eine aus ersterem Metall konstruierte Ladungssäule auch bei weitem nicht so wirksam, als eine, welche aus platiniertem Platin besteht."

Poggendorff hat die Richtigkeit dieser Behauptungen experimentell durch einen Vergleich der Verschiedenheit der erzielten Wirkungen bewiesen, indem er einmal blanke, das andere Mal platinierte, endlich teils blanke, teils platinierte Platinplatten benützt hat.

Diese von Poggendorff festgestellten Thatsachen waren für die weitere Entwickelung der Ladungssäule von hoher Bedeutung, weil durch dieselben der Weg angegeben wurde, welcher zur Erzielung einer wirksameren Ladungssäule als bisher eingeschlagen werden mußte.

Wir sehen daher auch namhafte Physiker, wie Faraday, Wheatstone, Buff, Schoenbein, Lenz und Saweljew, Beetz, Becquerel, Gaugain und andere, sich mit weiteren Versuchen beschäftigen. Sinsteden wies bereits 1854*) darauf hin, daß an Stelle der Platinelektroden mit Vorteil Bleielektroden für die Ladungssäule verwendet werden könnten, weil die durch die Polarisation entstehende Ansammlung von Elektrizität an Bleiplatten besonders stark auftrat. Nach den Versuchen von Planté soll die elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes unter Verwendung von Bleielektroden**) 2,5 Mal größer sein, als unter Verwendung von platinierten Platinelektroden, und 6,5 Mal größer als bei glatten Piatinelektroden. Er schreibt dies der großen Affinität des Bleisuperoxyds zum Wasserstoff zu, wie später bei der Besprechung der Planté-Batterien noch eingehender erörtert werden wird.

Die Gegenbatterie von Jacobi.

Trotzdem nun die Ladungssäule, namentlich durch die von Sinsteden angegebene Einschaltung von Bleielektroden immerhin eine nicht unwesentliche Verbesserung erfahren hatte, war von irgend einer praktischen Verwendung derselben noch keine Rede. Man beachtete anfänglich die wichtige Thatsache von Sinsteden gar nicht, sondern blieb ruhig bei den Platinelektroden, was dem Umstande zugeschrieben werden dürfte, daß den Physikern die mit den Bleiplatten unter der Einwirkung des elektrischen Stromes vor sich gehenden Veränderungen in den Ladungssäulen noch unbekannt zu sein schienen.

*) Poggendorff: Ann. 92. S. 655.
**) Du Moncel, Exposé des Appl. de l'Electr. Bd. II. S. 99.

Digitized by Google

Es befremdete daher keineswegs, daß der Petersburger Gelehrte Jacobi im Jahre 1860 mit einer Ladungsbatterie aus Platinelementen, welche er Gegenbatterie nannte, auf einer 300 Km langen, unterirdischen Telegraphenleitung zu telegraphischen Zwecken Versuche zur Unschädlichmachung des Rückstromes und des in den Relaisumwindungen auftretenden remanenten Magnetismus in seiner Wirkung auf die Ankeranziehung anstellte. Jacobi war übrigens der erste*), wie Brix und du Moncel angeben, welcher die Ladungssäule zu praktischen Telegraphierzwecken und zwar an seinem chemischen Telegraphenapparate benützte.

Die Polarisationsbatterie von Thomsen.

Dem Beispiel Jacobis folgend, konstruierte der dänische Physiker Thomsen seine unter dem Namen „Polarisationsbatterie" bekannt gewordene Ladungssäule, welche er auf dem Telegraphenamt zu Kopenhagen an Stelle der Linienbatterie als Telegraphierbatterie einschaltete, ohne indessen einen praktisch brauchbaren Erfolg zu erzielen.

Während nun Poggendorff bei dem Gebrauche seiner Ladungsbatterie, welche er mittels eines einzigen galvanischen Elementes unter Verwendung einer von ihm besonders konstruierten Wippe zu laden im stande war, nur einen unterbrochenen Ladungsstrom erlangen konnte, richtete Thomsen seine Polarisationsbatterie derartig ein, daß er zwar ebenfalls nur mit Hilfe eines einzigen, galvanischen Elementes die Ladung bewirkte, indessen einen ununterbrochenen Strom erzeugte, dessen er für die telegraphische Übermittelung bedurfte. Beide Physiker wollten mit nur einem galvanischen Element, also mit einer geringen Kraft eine große Leistung erzielen, wobei von Thomsen noch der ökonomische Standpunkt gegenüber den damaligen Telegraphierbatterien in ernste Erwägung gezogen werden mußte. Und mit Rücksicht darauf, daß gegenwärtig mit den Accumulatoren erneute Versuche im Gange sind, dieselben an Stelle der Linienbatterien zur telegraphischen Übermittelung zu verwenden, erscheint es angezeigt, die Thomsensche Batterie einer kurzen Vorführung zu unterziehen.

Die Polarisationsbatterie von Thomsen**) besteht aus einem offenen Holzkasten, welcher gegen den Angriff schwacher Säuren durch eine Überkleidung mit Wachs geschützt ist. Dieser Kasten ist mit Hilfe von senkrecht angeordneten Platinplatten, welche in die Seitenwand des Kastens eingelassen sind, in eine Anzahl paralleler Zellen geteilt, und es enthält der

*) Brix, Zeitschr. des Deutsch-Österr. Telegr.-Ver., 1860, S. 10; Du Moncel, Bd. II, S. 99.

**) Brix, Zeitschr. 1865, S. 287.

Digitized by Google

Kaſten im ganzen 50 Zellen mit 52 Platinplatten, von denen vier unmittelbar an den Endflächen des Kaſtens liegen.

Die gebildeten Zellen ſind waſſerdicht; ſie werden mit reiner, verdünnter Schwefelſäure bis auf 5 mm vom Rande gefüllt. Die Platten ſelbſt dienen als Scheidewände zwiſchen den einzelnen Zellen und bilden ſomit mit ihrer einen Seite die negative, mit ihrer anderen Seite die poſitive Elektrode.

Der Kaſten enthält die beiden Abteilungen A und B zu je 25 Zellen und 26 Platten; ſie ſtellt ſomit eine Batterie von 50 Elementen dar. Da jedes Element eine elektromotoriſche Kraft von 1,4 Daniell hat, ſo erſetzt die Thomſen-Batterie eine ſolche von 70 Daniell-Elementen. Die zu Elektroden benützten Platinplatten ſind platiniert und haben eine Stärke von $^1/_{26}$ Mm.

Um nur mit einem einzigen Element die Ladung der Batterie vornehmen zu können, führen von ſämtlichen Platinplatten Drähte zu den von einander iſolierten Meſſingſchienen einer Verteilerſcheibe aus nicht leitendem Material. Dieſelbe iſt in der Mitte entſprechend weit ausgeſchnitten, und es iſt durch dieſe Öffnung eine durch eine kleine elektromagnetiſche Maſchine zu bethätigende Achſe hindurchgeführt, welche die beiden von einander iſolierten Meſſingarme trägt.

Außer Jacobi und Thomſen hat noch der amerikaniſche Elektriker George Little im Jahre 1873 eine ſekundäre Batterie und zwar die Plantéſche Batterie, auf welche wir noch beſonders zurückkommen, zu telegraphiſchen Zwecken benützt, um die in ſeinem elektro-chemiſchen Telegraphenapparat auftretenden Extraſtröme in ihrer Wirkung auf den Elektromagnet unſchädlich zu machen.

Die ſekundäre Batterie von Little, von ihm Plantéſcher Kondenſator genannt, unterſcheidet ſich von dem Accumulator oder der ſekundären Batterie Plantés dadurch, daß zwei dünne Bleiplatten (von etwa 64,5 Qu.-Cm.) in einen flachen Mahagonikaſten geſtellt, durch mit Glycerin getränkte Flanellſtücke voneinander getrennt gehalten wurden, daß der obere Teil des Kaſtens mit Paraffin vergoſſen und der Kaſten ſelbſt luftdicht verſchloſſen wurde.

Digitized by Google

Einleitung.

Das Bedürfnis eine Vorrichtung zu besitzen, welche die Ansammlung des elektrischen Stromes gestattet, ist besonders seit Einführung des elektrischen Lichtes je länger je mehr hervorgetreten. Die grundlegenden Untersuchungen, welche zur praktischen Brauchbarkeit der Sammler geführt haben, liegen viel früher zurück. Schon A. v. Humboldt und Ritter beschäftigten sich mit den Erscheinungen der Polarisation, Fechner mit denen des Übergangswiderstandes resp. den Ladeerscheinungen, Ohm und Poggendorf setzten diese Untersuchungen fort.

Schönlein sprach sich 1839 dahin aus, daß alle sekundären Ströme, welche durch sogenannte polarisierte Körper erregt werden, ihre Quelle in einer gewöhnlichen chemischen Action haben, die entweder in einer Vereinigung von Stoffen oder in einer Zersetzung einer chemischen Verbindung besteht.

Die galvanischen Elemente erzeugen, wie z. B. das Zink-Kupfer-Element, selbst den elektrischen Strom dadurch, daß sich das Zink mit der Schwefelsäure verbindet. Das Zink löst sich auf und metallisches Kupfer scheidet sich aus, und zwar für jedes Gramm Kupfer wird 1,05 g Zink gelöst. Die hierzu erforderliche Energie beträgt pro

1 g Kupfer 350 kgm
1,05 „ Zink ca. 600 „

Die Differenz dieser beiden Zahlen ist 250 kgm, welche als nutzbare Energie im äußeren Stromkreis zur Wirkung kommen.

Die Sammler, Accumulatoren oder Sekundärelemente, wie sie jetzt allgemein im Gebrauch sind, unterscheiden sich wesentlich von den galvanischen oder Primärelementen und zwar dadurch, daß sie nicht selbständig Strom erzeugen, sondern nur die ihnen zugeführte elektrische Energie in chemische Arbeit umsetzen, als solche aufspeichern und die so gebundene chemische Wärme bei der Entladung wieder als elektrische Energie abgeben. Ehe wir jedoch uns eingehender mit diesen Vorgängen befassen, wollen wir zunächst noch einiges über den Entwickelungsgang dieser Apparate kennen lernen.

Die ersten brauchbaren Accumulatoren fertigte, wie schon erwähnt, Gaston Planté, der, durch Jacoby veranlaßt, sich für die Zwecke der Telegraphie mit dem Studium der sekundären Elemente befaßte. Hierbei war ihm die Bemerkung von de la Rives nützlich, daß Blei-Superoxyd zum

Digitized by Google

Wasserstoff eine große Affinität besitze. Planté konstruierte indessen eine Sekundärsäule aus neun Elementen mit einer Gesamtoberfläche von 10 qm. Jedes Element bestand aus zwei Bleiplatten mit einer Zwischenlage von dickem Tuch, welche zu einer Spirale aufgewickelt wurden. Jede Spirale wurde in ein Gefäß mit 10prozentiger Schwefelsäure gesetzt. Da Planté jedoch noch keine Ahnung von der Nützlichkeit der Formirung solcher Platten hatte, so erzielte er nur einen momentanen, jedoch nicht andauernden Strom. Infolgedessen wurde sein Accumulator lange Jahre hindurch wenig beachtet, er war für die Praxis durchaus unbrauchbar. Erst durch die Erfindung der Dynamomaschine ward Planté veranlaßt, sein Sekundärelement hervorzuholen. 1879 gab er selbst eine Beschreibung heraus, in der er über die Vorgänge und die Behandlung der Accumulatoren sich ausführlicher ausspricht.

Ihm folgte, wie später in dem Kapitel über die chemischen Vorgänge ausführlicher dargelegt ist, R. L. Metzger zu Altbreisach in Baden. Lange Zeit hindurch war man der Ansicht, daß Camille Faure Plantés direkter Nachfolger im Accumulatorenbau gewesen sei. Erst vor kurzem bewies gelegentlich eines Patentstreites Herr Erich Correns, daß Metzger lange zuvor Accumulatoren nach Art des Faureschen Verfahrens gefertigt und verkauft hat.*) Herr Metzger, der mit der Chemie eng vertraut ist, hielt es für durchaus naturgemäß und logisch, denjenigen Stoff, welcher im anderen Falle erst durch langwierigen und elektrolytischen Prozeß hindurchgebracht wird und noch dazu weder in genügender Menge, noch Dichte erzeugt werden kann, von dem aber die ganze Wirkung eines Accumulators abhängt, direkt zu verwenden. Infolgedessen stellte er Mitte der 70er Jahre aus Bleioxyd und Schwefelsäure einen Brei her, mischte kleine Lamellen daraus und umgab sie mit einem Mantel aus Bleiblech, der durchlöchert war. Die Platten erwiesen sich jedoch wenig haltbar und er wendete infolgedessen eine Mischung mit Wasserglas an. Er bildete aus durchlöchertem Bleiblech mit doppelter Wandung Cylinder und füllte die Zwischenwände mit Bleioxydteig. Diese Konstruktion gab ein brauchbares und haltbares Element, bei dem jedoch immer Abbröcklungen vorkamen. Es wurden hierauf neue hohle Zylinder aus Bleiblech hergestellt, die jedoch nur auf den einander zugekehrten Seiten Löcher hatten und so eine einigermaßen haltbare Konstruktion erzielt. Solche Elemente wurden mehrfach an Interessenten geliefert. Erst Ende 1879 kam Metzger dazu, statt der runden, flache Mäntelelektroden zu konstruieren, bei denen die positive Platte von je einer negativen umgeben war. Die

*) Siehe die Broschüre: R. L. Metzger und seine Erfindungen von E. Correns. 1892.

Digitized by Google

Formierung dieser Zellen ging zwar viel besser als bei den früheren von statten, doch blieben Krümmungen bei deren Gebrauch nicht aus. Durch körperliches Leiden war der Genannte verhindert, weitere Versuche zu machen, doch fertigte Herr Hermann Schröter in Sommerfeld schon im Jahre 1880 Accumulatoren mit ähnlichen Platten an. Ihm folgten eine Menge bekannter Konstrukteure, deren Arbeiten wir später besprechen wollen.

Zur Zeit, als die Dynamomaschine nur 70% Nutzeffekt ausgab, nahm man im allgemeinen an, daß der Verlust zwischen der Welle, der Betriebsmaschine und den Polen der Accumulatorenbatterie sich bis zu 50% Nutzarbeit belaufe. Die neueren Dynamos haben jedoch 85—90% Nutzeffekt. Der Nutzeffekt der Aufspeicherungsapparate ist ein Bruchteil der von der Dynamo zugeführten Energie und beläuft sich auf 70%, so daß man für jede den Zellen zugeführte 100 Watts als nützliche Arbeit 70 Watts wieder gewinnt. Dieser Verlust, welcher durch das Laden der Accumulatoren und die Benutzung des aus denselben entnommenen Stromes hervorgeht, läßt sich durch den Mehrverbrauch an Kraft (Kohle, Feuerung, resp. einen gewissen Geldwert) ausdrücken. Da nun aber der Kohlenbedarf in einem elektrischen Betriebe weniger als die Hälfte aller Kosten ausmacht, und das Mehr an Kohle resp. Kraft, welches die Anwendung der Accumulatoren mit sich bringt, nur wieder einen Bruchteil hiervon beträgt, so ist dieser Wert in vielen Fällen nicht eine Erhöhung der allgemeinen Betriebskosten, sondern man erzielt bei verständiger Einrichtung oft eine Ersparnis. Solange nämlich die volle Kraft gebraucht wird, wird man die Maschine allein oder in Verbindung mit den Accumulatoren anwenden, so daß die Maschinen immer mit möglichst voller Belastung arbeiten. Sobald jedoch der Lichtbedarf geringer wird, wäre der Betrieb einer großen Maschine nicht mehr ökonomisch. Dieselbe würde mehr Dampf als bei voller Belastung und das gleiche Quantum Schmiermaterial verbrauchen, so daß es in diesem Falle viel vorteilhafter ist, den geringen Strombedarf den Accumulatoren allein zu entnehmen. In vielen Fällen jedoch sind die Accumulatoren nicht allein bequem und angenehm, sondern oft durchaus ökonomisch, natürlich unter der Voraussetzung, daß ihre Anschaffungs- und Betriebskosten in vernünftigen Grenzen bleiben. Dieser Umstand findet statt:

1) Wenn die verwendete Kraftquelle klein aber konstant ist. Es giebt zahlreiche Fabriken, Werke, Handelshäuser oder Mühlen, welche tagsüber Dampf gebrauchen und wo eine kleine Vermehrung an Pferdekräften über das gewöhnliche Bedürfnis kaum gewürdigt wird, die jedoch im Winter drei bis vier Stunden Licht brauchen. In diesem Falle kann eine Dynamo durch eine Betriebsmaschine den ganzen Tag unter kaum nennenswerter Beaufsichtigung mitlaufen und ihren Strom in einer Accu-

Digitized by Google

mulatoren-Batterie aufspeichern, welche am Abend oder früh morgens zur Beleuchtung gebraucht wird, oder man hat eine kleine Betriebsmaschine, sei dies nun eine Dampf-, Gas- oder Wassermaschine, welche den ganzen Tag läuft, deren Kraft jedoch für die nötige Anzahl (P. S.) nicht hinreicht, wenn man den durch dieselbe direkt erzeugten Strom verwenden wollte. Jedoch kann die Energie während der vielen Stunden, wo diese die Kraft nicht anderweitig braucht, mit Vorteil aufgespeichert werden, so daß man das Doppelte der Kraft, ja Dreifache in den wenigen Stunden der Beleuchtung verwenden kann.

2) Bei schnell fließenden Flüssen oder Wasserfällen in der Nachbarschaft von Städten, Industriebezirken oder Wohnungen, deren Kraft aus einer natürlichen Quelle beständig ungenützt dahin fließt, kann man für die Erzeugung aufgespeicherter Energie großen Nutzen ziehen, wenn die Betriebsmaschine selbst nur 20—30% Nutzeffekt giebt. Dieses Aufspeicherungs-System ist um so wertvoller bei Wasserkräften, die nur zu bestimmten Tagesstunden ihre volle Leistungsfähigkeit entwickeln, oder in Fällen, wo man mit Hilfe der Accumulatoren die Leistung der dahin fließenden Kraft verdoppeln oder verdreifachen kann.

3) Wenn die aufgespeicherte Energie erst gebraucht wird nach Abtrennung der Zellen von der ladenden Maschine, also z. B. beim Betriebe elektrischer Wagen. Der Unterschied der Sekundärbatterien gegen die Primärbatterien beruht darin, daß die Thätigkeit der Platten gänzlich von der elektrischen Energie abhängt, die denselben zugeführt wird und dieselben nach dem Laden ohne eine chemische Abnutzung wieder den Strom abgeben, während die Primärbatterien die Elektrizität auf chemischem Wege erzeugen und hierzu Metalle und Salze verbrauchen. Eine wirkliche Sekundärbatterie, wenn auch nur von geringer Leistungsfähigkeit, ist Groves Gasbatterie oder Voltameter, in welcher die entwickelten Gase einen elektrischen Strom hervorrufen. Dies besteht aus zwei gleichen Platten, von denen sich die eine mit Wasserstoff, die andere mit Sauerstoff im Kontakt befindet. Die Menge Sauerstoff, welche das Platina suspendiert an sich halten kann, ist jedoch äußerst gering, auch ist das Metall nicht oxydierbar. Die Vorteile aber eines oxydierbaren Metalles für die Zwecke einer elektrischen Aufspeicherung sind ganz offenbar und Planté fand, daß Bleiplatten leicht oxydiert werden und die ihnen zugeführte Energie sehr lange Zeit festhalten.

Weitere Mitteilungen über die historische Entwickelung unserer heutigen Accumulatoren finden sich später in dem Abschnitt über die Chemie dieser Apparate.

Digitized by Google

I. Die Wirkungen des elektrischen Stromes auf flüssige Körper.

1. Die Wasserzersetzung.

Geht ein elektrischer Strom von genügender Spannung zwischen zwei Platinaelektroden über, welche sich unter Wasser befinden, so wird das Wasser H_2O in seine Bestandteile, nämlich 2 H und O zerlegt und zwar scheiden sich äquivalente und der Stromstärke proportionale Mengen ab. Dieses Gesetz ist für alle Körper gültig, welche durch den elektrischen Strom überhaupt zersetzt werden. So scheidet z. B. der Strom bei der Wasserzersetzung Knallgas aus, und zwar erhält man den Strom in Ampèresekunden, wenn man die Anzahl der gewonnenen Kbem Gas mit 5 multipliziert (abgesehen von einer Korrektion bezüglich des atmosphärischen Druckes). Im allgemeinen ist die zersetzte Menge

$$M = a \cdot i \cdot t$$

wo i die Ampèrezahl, t die Sekunden und a das elektrochemische Äquivalent bedeutet. Hieraus ergiebt sich die Stromstärke

$$i = \frac{M}{a \cdot t}.$$

So scheidet 1 Ampèrestunde z. B. 4,03 g Silber aus.

Lothar Meyer und K. Seubert haben in der nachstehenden Tabelle die elektrochemischen Äquivalente der verschiedenen Körper zusammengestellt.

Element	Atom Gewicht	elektro-chem. Äquivalent Gewicht	Element	Atom Gewicht	elektro-chem. Äquivalent Gewicht
Aluminium	27,04	9,01	**Blei**	**206,39**	**103,20**
Antimon	119,6	39,87 (23,92) β	Bor	10,9	3,63
Arsen	74,9	24,97 (14,98) β	Brom	76,76	76,76
Barium	136,86	68,43	Cäsium	132,7	132,7
Beryllium	9,08	4,54	Calcium	39,91	199,5

Digitized by Google

Element	Atom Gewicht	elektrischem Äquivalent Gewicht	Element	Atom Gewicht	elektrischem Äquivalent Gewicht
Cer	14,12	70,6 (47,1) α	Quecksilber	199,8	199,8 (99,9) α
Chlor	35,37	35,37	Rhodium	104,1	34,7
Chrom	52,45	26,22 (17,48) α	Rubidium	85,2	85,2
Didym	145,00	48,33	Ruthenium	103,5	25,87
Eisen	55,88	27,94 (18,63) α	Sauerstoff	15,96	7,98
Fluor	19,06	19,06	Scandium	43,97	14,66
Gallium	69,9	23,3	Schwefel	31,98	15,99
Gold	196,2	65,40	Selen	78,87	39,43
Indium	113,4	56,70	Silber	107,66	107,66
Iridium	192,5	48,12	Silicium	28,00	7,00 γ
Jod	126,54	126,54	Strontium	87,3	43,65
Kadmium	111,70	55,85	Tantal	182,00	36,4 α
Kalium	39,03	39,03	Tellur	127,7	63,85
Kobalt	58,6	23,3 (19,53) α	Thallium	203,7	203,7
Kohlenstoff	11,97	2,99 γ	Thorium	231,96	57,99
Kupfer	63,18	31,59 α	Titan	50,25	12,56
Lanthan	138,5	46,17	Uran	239,8	59,95 β
Lithium	7,01	7,01	Vanadin	51,1	10,22 α
Magnesium	23,94	11,97	Wasserstoff	1,00	1,00
Mangan	54,8	27,4 (18,3) α	Wismuth	207,5	103,75 (69,2) α
Molybdän	95,9	47,95 (16,0) δ	Wolfram	183,6	91,8 (30,6 δ
Natrium	22,995	22,995	Ytterbium	172,6	57,53
Nickel	58,6	29,3 (19,53) α	Yttrium	89,6	29,87
Osmium	195,0	48,75	Zink	64,88	32,44
Palladium	106,2	26,55	Zinn	117,35	58,67 (29,34) α
Phosphor	30,96	10,32 (6,19) β	Zirkonium	90,4	22,60
Platin	134,3	48,57			

2. Die Galvanoplastik

macht von dieser Wirkung des elektrischen Stromes Gebrauch. Nennt man a das chemische Äquivalent eines Körpers bezogen auf Wasserstoff, so ist die von 1 Coulomb ausgeschiedene Menge

$$g = 0.010386 \cdot a \cdot i \text{ mg},$$

Hieraus ergiebt sich nach Kohlrausch*):

Körper	Atom Gewicht	Äquivalent	Elektrochem. Äquivalent in mg per Cb	Ausscheidung per A.-Std. in g
Aluminium	27,04	9,031	0,09361	0,3370
Blei	206,39	206,195	1,0718	3,8584

*) s. Uppenborn's Kalender.

Digitized by Google

Körper	Atom Gewicht	Äquivalent	Elektrochem. Äquivalent in mg per Cb	Ausscheidung per A.-Std. in g
Gold	196,2	65,40	0,6792	2,445
Kalium	39,03	39,03	0,4054	1,459
Kupfer	63,18	31,59	0,3280	1,1808
Magnesium	23,94	11,97	0,1245	0,4482
Natrium	22,99	22,99	0,2388	0,8596
Nickel	58,6	29,3	0,304	1,096
Platin	194,43	97,22	1,0097	3,6350
Quecksilber	199,8	99,9	1,038	3,735
Silber	107,66	107,66	1,1183	4,0260
Wasserstoff	1	1	0,010386	0,037390
Zink	64,88	32,44	0,3369	1,213
Zinn	117,35	58,67	0,6094	2,194
Brom	79,76	79,76	0,8284	2,982
Chlor	35,37	35,37	0,3674	1,323
Jod	126,54	126,54	1,3142	4,731
Sauerstoff	16	8	0,0831	0,303

Die vorstehende Tabelle ermöglicht also zu ermitteln, wie viel Metall aus einer Lösung durch den elektrischen Strom bei den verschiedenen Operationen ausgeschieden wird.

Der Vorgang bei der Zersetzung einer Kupfervitriollösung stellt sich folgendermaßen dar:

Eine Zelle ist mit gesättigter Kupfervitriollösung gefüllt, welche stets auf gleicher Konzentration in geeigneter Weise erhalten wird. Der negative Pol einer Stromquelle ist mit der leitend gemachten Form, der positive Pol mit einer Kupferplatte verbunden.

$$CuOSO_3 + xH_2O = Cu + SO_3 + xH_2O.$$

Es entsteht also aus der Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyde Kupfer, während die frei gewordene Schwefelsäure und das eine Atom Sauerstoff gewöhnlich dazu gebraucht wird, von einer eingehängten Kupferplatte neues Kupfer aufzulösen und somit neues Kupfersalz zu bilden, so daß die Lösung stets auf derselben Konzentration erhalten wird. Die in einem elektrischen Schließungskreise vorkommenden chemischen Prozesse sind gleich derjenigen Wärme, welche im ganzen Schließungskreise erzeugt wird. W. Thomsen hat nachgewiesen, daß die elektromotorische Kraft bei einem elektrochemischen Prozeß gleich ist dem mechanischen Äquivalent der in der Einheit der Zeit bei der Einheit der Stromstärke in dem Schließungskreise geleisteten Arbeit oder auch der durch die chemischen Prozesse im Schließungskreise erzeugten Wärme, was man auch das thermoelektrische Äquivalent nennt.

Digitized by Google

3. Die Aufspeicherung des elektrischen Stromes im allgemeinen.

Unsere physikalischen Lehrbücher erklären, daß der elektrische Strom Metallsalzlösungen derart zerlegt, daß sich das Metall am negativen und die Säure am positiven Pole ausscheidet. Dies ist jedoch nur unter der Bedingung richtig, das der wäßrigen Lösung keine weiteren Zusätze beigegeben werden.

Wie wir später sehen werden, läßt sich die Metallsalzlösung durch gewisse Zusätze derart verändern, daß keine Metallausscheidung, sondern eine Aufspeicherung des elektrischen Stromes stattfindet.

Jeder elektrolytische Prozeß, welcher unter solchen Bedingungen vor sich geht, daß durch Verbindung der Elektroden die Körper wieder ihre ursprüngliche Form annehmen können, das heißt, daß die durch Einleiten des elektrischen Stromes entstandenen chemischen Veränderungen sich wieder zurückbilden können, ist geeignet, den elektrischen Strom aufzuspeichern. Diese Rückbildung geschieht unter Abgabe von Strom.

Bedingung ist hierbei, daß die entstehende Säure in der Ruhe nicht auflösend auf die Elektroden wirkt.

Für die Aufspeicherung können praktisch nur solche Körper resp. deren Salze in Frage kommen, welche nicht zu hoch im Preise stehen. Hierher gehören etwa Aluminium, Blei, Eisen, Kupfer, Zink und vielleicht auch Kohle. Unter diesen wieder werden diejenigen am besten sein, welche nicht allein niedrig im Preise stehen, sondern die auch mit möglichst wenig Aufwand an elektrischer Energie den größten Prozentsatz an Ladung wieder abgeben, und ferner diejenigen, welche die höchste Spannung per Zelle haben.

Den elektrischen Strom ansammeln überhaupt kann man mit noch sehr vielen anderen Körpern und deren chemischen Verbindungen, z. B. auch mit Zucker, für eine rationelle Aufspeicherung haben sich jedoch bis jetzt nur sehr wenige als brauchbar erwiesen.

a) Durch gewöhnliche Metallsalzlösungen kann man den elektrischen Strom zwar auch ansammeln, doch ist es bis jetzt noch nicht gelungen, dies in praktisch brauchbarer Weise zu thun.

Stellt man in eine wässerige Chlorzinklösung z. B. 3 Zinkplatten, nimmt die mittlere als positive und die beiden äußeren als negative, so schlägt sich beim Einleiten von Strom metallisches Zink auf der mittleren Platte nieder. Wir haben so einen Sammler einfachster Form, doch ohne allen praktischen Wert, da das teilweise frei werdende Chlor den Niederschlag des Metalls bald auflöst und so die Ladung zerstört. Entladet

Digitized by Google

man sofort nach dem Laden, so bildet sich ziemlich viel Strom, indem sich das niedergeschlagene Zink wieder in Chlorzink verwandelt.

Wäre es möglich, eine Zinklösung herzustellen, welche das Metall nur beim Entladen auflöst, in der Ruhe jedoch nicht angreift, so wäre der Sammler schon eher zu brauchen. Um jedoch eine Zelle von genügendem Fassungsvermögen für eine größere Strommenge zu erhalten, müßte man eine bedeutende Menge Flüssigkeit anwenden, das Volumen einer solchen Zelle würde praktisch brauchbare Dimensionen bald überschreiten.

b) Das Elektrolin zur Aufspeicherung des elektrischen Stromes nimmt unter den Sammlern eine Ausnahmestellung ein, es ist eine Salzlösung, die durch Zusatz der äquivalenten Säuremenge sich derart verhält, daß unter normalen Verhältnissen kein Metall ausgeschieden wird.

Metallausscheidung findet nur dann statt, wenn man die Stromstärke im Verhältnis zur Elektrodenfläche und zur Flüssigkeitsmenge zu groß nimmt; wählt man dagegen die richtigen Verhältnisse, so wird die Lösung in eine höhere Oxydationsstufe übergeführt und Strom aufgespeichert.

Sehr leicht kann man diesen Vorgang mit einer Lösung von Eisenchlorür in Wasser, unter Zusatz von Salzsäure beobachten. Diese Lösung sieht nach ihrer Herstellung hellgrün aus. Füllt man sie in Zellen mit Kohlenplatten und leitet Strom hindurch, so färbt sich oben zunächst die Lösung braun, die braune Lösung sinkt langsam nach unten, bis die ganze Menge in dunkelbraunes Eisenchlorid übergeführt ist. Die negative Elektrode kann auch durch eine Eisenplatte dabei ersetzt werden.

Ist die Lösung völlig in Chlorid übergeführt, so wird kein Strom mehr aufgenommen, es tritt eine lebhafte Gasentwickelung ein unter Ausscheidung von metallischem Eisen.

Diese so gewonnene Eisenchloridlösung ist beständig. Verfasser hat Proben schon 4 Jahre lang aufgehoben, welche sich nicht verändert haben. Dies Elektrolin läßt sich eindicken und kristallisieren, ohne seine Eigenschaften zu verändern, es bildet mithin eine elektrisch geladene Flüssigkeit resp. ein elektrisches Salz, welches man mit Wasser verdünnen resp. in solchem auflösen und zur Stromerzeugung gebrauchen kann.

Daß man es hier mit einem ganz neuen, erst im Jahre 1889 gefundenen Körper zu thun hat, lehrt ein Vergleich mit dem bekannten chemisch hergestellten ferrum chloratum. Dies bildet, mit einer Kohlen- und einer Eisenelektrode in eine Zelle gebracht, nicht einmal ein Primärelement, weil es die Eisenelektrode auch in der Ruhe in wenigen Stunden auflöst, während das Elektrolin dies selbst nach Monaten nicht thut.

Konstruiert man eine Zelle mit einer sehr porösen, vielfach durchlöcherten Kohle, welche für eine gleich große, flache Eisenplatte nur noch

Digitized by Google

eben Platz läßt, doch so, daß beide noch dazwischen eine Isolierung haben, füllt in diese Zelle verdünntes Elektrolin, so hat man ein Sekundärelement, was geringe Strommengen, z. B. für Haustelegraphen, Monate lang abgiebt. Hierbei wird die Eisenelektrode nicht merklich angegriffen, die bräunliche Lösung färbt sich langsam grün und entladet sich wieder.

Nun, wird der freundliche Leser sagen, da haben wir ja das Geheimnis der Aufspeicherung in einfachster und glänzendster Weise gelöst, da haben wir ja das Ideal der Aufspeicherung! Ja recht schön, es ginge wohl — aber es geht nicht. Doch wenn man das Elektrolin wie Petroleum in Fässer füllte und nach den Verbrauchsorten versendete, so wäre doch damit das elektrische Licht Gemeingut aller geworden? Ja, es wär' so schön gewesen, doch hat's bis jetzt wenigstens nicht sollen sein!

Die Sache hat nämlich zwei sehr große Übelstände: der beim Entladen gewonnene Strom steht in keinem günstigen Verhältnis zur aufgewendeten Ladearbeit, und bei der Entladung scheint eine sehr hinderliche Gasbildung (Polarisation) aufzutreten. Sollte es jemals gelingen, diese beiden Mängel zu beseitigen, dann könnte das Elektrolin eine praktische Verwendung sicher finden. Bis dahin müssen wir uns schon gedulden und uns mit den Bleiaccumulatoren begnügen, da auch die anderen schon genannten Metalle etwas Brauchbares noch nicht ergeben haben.

c) Die Aufspeicherung des elektrischen Stromes auf Bleiplatten.

Von allen bis jetzt aufgetauchten elektrischen Sammlern haben nur diejenigen eine Bedeutung gewonnen, welche das Blei benützen. Alle anderen Systeme, die großenteils nur in den Patentschriften und auf dem Papier ein wenig gekanntes Dasein führten und zur Aufspeicherung Kohle, Zink, Eisen, Mangan ꝛc. benützten, haben sich nicht bewährt. Der Grund, warum es den Konstrukteuren bis jetzt nicht gelungen ist, die oben genannten Stoffe zu verwenden, liegt hauptsächlich darin, daß das Blei in verdünnter Schwefelsäure und überhaupt unlöslich resp. schwer löslich ist, während die billigeren und sonst noch etwa in Betracht kommenden Metalle in Säuren wie in Salzlösungen leicht angegriffen werden, so daß auch ohne die Einwirkung des elektrischen Stromes Veränderungen eintreten, welche entweder die Elektroden zerstören oder einer vorteilhaften und dauernden Aufspeicherung entgegenwirken. Das Blei in verdünnter Schwefelsäure geht selbst bei Einwirkung des elektrischen Stromes nicht im geringsten in Lösung über, sondern es wird oxydirt resp. reduzirt.

Im Prinzip besteht demnach der einfachste Blei-Accumulator aus zwei

Digitized by Google

Bleiplatten, welche von verdünnter Schwefelsäure umgeben sind. Leitet man durch eine solche primitive Zelle elektrischen Strom, so ist schon nach wenigen Minuten die positive Platte mit braunem Blei-Überoxyd (Superoxyd, Peroxyd) bedeckt. Setzt man den Prozeß einige Zeit fort und ladet resp. entladet eine solche Zelle täglich, so wird die Überoxydschicht immer stärker und fester — die Kapazität wächst mit der Stärke derselben. Nach 3—6 Monaten täglichen Gebrauchs hat die Zelle ihre höchste Leistungsfähigkeit erreicht; unter Anwendung eines anfangs nur schwachen Stromes hat sich eine feste, kristallinische, braune Schicht auf der positiven Platte gebildet; dieselbe nimmt infolgedessen viel mehr Strom als zu Anfang auf, sie ist formiert und hat eine gewisse Kapazität im Verhältnis zu ihrer Oberfläche und der aufgewendeten Formierungszeit.

Eine solche Zelle hatte auch der Franzose Gaston Planté für seine bekannten Versuche angewendet. Eine genauere Beschreibung derselben folgt im Abschnitt II. 1. unter den älteren Konstruktionen.

Bis zur Erfindung des Polsuchers von August Berghausen und des Polreagenspapiers von Arthur Wilke diente eine solche Planté-Zelle oft zur Ermittelung der Pole einer Dynamo, welche zum Laden benutzt werden sollte. Die Bildung des braunen Peroxyds ist ein untrügliches Merkmal des positiven Poles.

Während Planté zur Erzielung einer größeren Oberfläche lange Bleistreifen isoliert aufeinander legte und dann aufrollte, stellte man später Platten von 4—10 qdem Oberfläche in größerer Anzahl nebeneinander und zwar derart, daß jeder positiven Platte beiderseits eine negative gegenübersteht, so daß also stets eine ungerade Anzahl Platten in jeder Zelle vorhanden ist. Es hat demnach selbst die kleinste Zelle vorteilhaft mindestens 3 Platten, eine positive in der Mitte und je eine negative auf jeder Seite. Der Grund hierfür liegt einfach darin, daß bei dieser Anordnung die beiden Seiten der positiven Platte zur Wirkung kommen.

Der Hauptsache nach verläuft der elektrochemische Prozeß in der Planté-Zelle derart, daß von den ursprünglich durchweg metallischen Platten die positiven braunes Überoxyd, die negativen graues, metallisches, schwammiges Blei enthalten. Beim Entladen wird das Überoxyd wieder zu metallischem Blei reduziert.

Dieses Verfahren, elektrischen Strom aufzuspeichern, hat zwei große Mängel: Der Prozeß braucht zur Erreichung einer gewissen Kapazität viel Zeitaufwand, ist mithin kostspielig, und zu der Zeit, zu welcher das Maximum an Kapazität erreicht ist, beginnt auch schon wieder der Verfall der positiven Platten; die Peroxydschicht blättert, je tiefer sie in das Metall eindringt, um so leichter ab, und damit sinkt die Kapazität und die Brauch-

Digitized by Google

barkeit. Man mußte also auf Mittel sinnen, den Formierungsprozeß möglichst abzukürzen. So gelangte Faure zur:

d) Aufspeicherung auf präparierten Bleiplatten.

Ein einfaches Mittel, die Bildung des Überoxyds zu beschleunigen bietet sich in der Anwendung von Bleiplatten, welche zuvor mit Bleioxyd oder Bleimennige bedeckt oder bestrichen sind, sodaß nicht mehr Pb in PbO_2 zu verwandeln ist, sondern schon PbO vorhanden ist, welches also nur um eine Stufe höher zu oxydieren ist. Die zu leistende Arbeit wird hierdurch ganz bedeutend verringert und der Formierungsprozeß abgekürzt und verbilligt. Der Erfinder dieses Verfahrens war Faure. Derselbe glaubte damit ein Mittel gefunden zu haben, den elektrischen Strom in unbegrenzter Menge aufzuspeichern. Die Erfindung erregte damals etwa das gleiche Aufsehen, wie die Erfindung der Glühlampe, es wurden in vielen Kulturstaaten hierfür Patente erteilt und große Hoffnungen daran geknüpft. Doch wie bei so vielen Neuerungen zeigte sich gar bald, daß damit noch lange nicht das Problem der Aufspeicherung gelöst war. Zwischen dem ersten Gedanken einer neuen Erfindung, seiner Patentierung und der praktischen Verwertung sind oft die größten Schwierigkeiten zu überwinden. Die Formierung war zwar verkürzt, die Kapazität erhöht, aber — das aufgetragene Oxyd fiel leicht ab. Bis auf den heutigen Tag quälen sich nun die Konstrukteure damit ab, die Peroxydschicht auf der Bleiplatte, die „aktive Masse" festzuhalten. Zahlreiche und sehr verschiedene, kostspielige und teils höchst schwierige Prozesse wurden ersonnen, diesem Übelstande abzuhelfen.

4. Zur Chemie der Accumulatoren.

In jeder galvanischen Batterie wird Elektrizität erzeugt auf Kosten eines Metalles und einer Säure oder sonst erregenden Flüssigkeit. So löst sich in einem Daniel-Element $1^1/_{20}$ g Zink für je 1 g niedergeschlagenes Kupfer. Um 1 g Cu auszuscheiden, sind 350 kgm Energie erforderlich, während $1^1/_{20}$ g Zink 600 kgm entsprechen. Die 250 kgm, welche das Zink mehr als das Kupfer bedarf, sind es, welche den Strom unterhalten und die äußere Arbeit des Elementes verrichten.

Sendet man jedoch durch ein solches Element elektrischen Strom, so

Digitized by Google

dreht sich der Prozeß um, d. h. das Kupfer löst sich wieder und Zink schlägt sich nieder, das Element giebt dann eine Gegenspannung, Polarisation genannt, sie ist die elektrische Reaktion an den Polen des Elements.

Bei der Wiedervereinigung von Sauerstoff und Wasserstoff in Groves Gasbatterie erhalten wir 1,49 Volt Spannung, während durch die sehr viel höhere chemische Arbeit, welche die Erzeugung von Überoxyden verlangt, bei deren Reduktion eine viel höhere elektromotorische Kraft erzeugt wird.

Die sehr hohe elektronegative (oxydierende) Eigenschaft des braunen Blei-Überoxydes wurde 1835 von Munck v. Rosenschöld entdeckt, der es als die elektronegativste Substanz einer Bleiverbindung mit Sauerstoff bezeichnet. Von den Sauerstoffverbindungen des Bleies enthält das Bleisuperoxyd (Überoxyd, Hyperoxyd) PbO_2 den größten Prozentsatz Sauerstoff, ist ein besserer Leiter, als eines der niederen Oxyde, und ist dabei das am meisten elektronegative der Bleiverbindungen mit Sauerstoff. In Primärbatterien wird die Elektrizität auf chemischem Wege erzeugt, einige primäre Cirkulationsbatterien können wieder regeneriert werden, indem man einen umgekehrten Strom durch dieselben sendet. Wenn sie so auch zu Sekundärbatterien werden, ist doch ihre Wirksamkeit sehr beschränkt, weil die frei gewordene oder zersetzte Säure durch diese Erregung nicht in ihre ursprüngliche Verbindung übergeführt werden kann. Diese beschränkten sekundären Eigenschaften, welche man durch einen Ladungsprozeß erzielt, erhält man hauptsächlich durch die in den Platten eingeschlossenen Gase.

Eine wirkliche Sekundärbatterie ist Groves Gasbatterie oder Voltameter, in welcher die entwickelten Gase direkt einen elektrischen Strom hervorrufen. Sie besteht aus 2 gleichen Platinplatten, von denen eine bedeckt oder im Kontakt mit Wasserstoff, die andere mit Sauerstoff sich befindet. Die Menge Sauerstoff, die Platin aufspeichern oder suspendiert an sich halten kann, ist äußerst gering. Das Metall ist oxydierbar, obgleich es zum Wasserstoff eine große Affinität besitzt. Die Anwendung der Vorteile eines oxydierbaren Metalls für die Zwecke der elektrischen Aufspeicherung sind daher ganz offenbar und Planté fand, daß Bleiplatten leicht oxydiert werden und auch fähig sind, ihre Energie sehr lange Zeit festzuhalten.

Obwohl die Polarisationserscheinungen verschiedener Elektroden lange bekannt und von verschiedenen Forschern untersucht und beschrieben waren, so gebührt doch Gaston Planté das Verdienst, mit unermüdlichem Eifer und frei von Voreingenommenheit die ganze Frage der Polarisation der Elektroden nochmals gründlich untersucht und den wirklichen Fortschritt der Sekundärbatterien angebahnt zu haben. Er fand, daß die höchste Polarisation erreicht wird durch Zersetzung von verdünnter Schwefelsäure

zwischen Blei-Elektroden. Das Resultat seiner Untersuchungen war sein 1860 konstruierter Accumulator aus 9 Zellen.

Herr R. L. Metzger zu Altbreisach in Baden lernte Anfang der sechziger Jahre die Arbeiten von de la Rives in Genf und von Planté in Paris kennen, welche ihm Veranlassung gaben, über die Verbesserung derselben nachzudenken und Mitte der siebziger Jahre Accumulatoren unter Anwendung von Bleioxyd zu konstruieren.

C. A. Faure in Paris wendete erst im Jahre 1880 einen Überzug von Mennige auf Bleiplatten an, um den Formierungsprozeß abzukürzen. Ihm folgten mit weiteren Verbesserungen Sellon und Volckmar und mit ihnen begann erst das Studium der chemischen Vorgänge unserer heutigen Accumulatoren. Eine der gründlichsten Arbeiten auf diesem Gebiete lieferten 1885 zu Schemnitz in Ungarn die Herren Professoren Dr. Stefan Schenek und Stefan Farbaky*). Dieselben untersuchten zunächst:

Die Wirkungsweise der Schwefelsäure. Es wurde schon früher beobachtet, daß beim Entladen der Accumulatoren der Säuregehalt auf ein Minimum herabsinkt, gleichzeitig aber auch die Wirksamkeit der Zellen aufhört. Beim Laden findet das Gegenteil statt, der Gehalt an Säure nimmt je länger desto mehr zu und erreicht seinen höchsten Werth, wenn die Zellen vollkommen geladen sind.

Es ist daher Thatsache, daß beim Laden Säure frei, beim Entladen aber wieder gebunden wird; die Sulfate des Bleies werden also beim Laden zersetzt und Säure frei gemacht, beim Entladen jedoch Sulfate gebildet und dadurch Säure wieder gebunden. Das Verhältnis, in welchem die aufgespeicherte Energie zur frei gemachten Säuremenge einerseits und die abgegebene Energie zur gebundenen Säuremenge andrerseits steht, war bisher unbekannt.

Die Zellen, mit welchen die Versuche vorgenommen wurden, enthielten 7 Platten von zusammen 15 kg Gewicht mit ca. 3 Liter verdünnter Schwefelsäure, Leistung bei 5 A. Entladung 167000 mkg oder 11130 mkg für 1 kg Plattengewicht.

Die Ladung ergab als Mittel aus 6 Versuchen

Amp.	A.-Std.	g Säure in 100 ccm	g der verd. Säure	g H_2SO_4	g freigew. H_2SO_4
24,22	435,79	Zunahme 24,29	Gef. Zunahme 273	700—878	**Gef. Zunahme 64,64**

*) s. Dinglers polytechn. Journal 1885, Bd. 57, S. 357 ff.

Digitized by Google

Hieraus ist zu entnehmen:

	Anfang der Ladung	Ende der Ladung	g Gewichtzunahme
Gewicht der verdünnten Säure . . .	2960 g	3233 g	+ 273
Gehalt an H_2SO_4 in 100 ccm . . .	8,24	32,53	+ 24,29
Gewicht „ „ „	231,7	878,1	+ 64,64

Ladung total 435.79 A.-Std.

Bis zum Ende des vierten Versuches war die Zunahme an frei gemachter Säure H_2SO_4 ziemlich proportional der zum Laden verwendeten Ampére-Stunden, im Mittel 1,82 g frei gemachte H_2SO_4 für 1 A.-Std. Ladestrom, während später eine lebhafte Gasentwickelung eintrat, bis zuletzt Knallgas gebildet wurde. Die zum Laden aufgewendete Energie wurde somit schon wenig aufgespeichert, und nicht mehr zum Zerlegen der Sulfate in den Platten, sondern zur Zersetzung des Wassers verwendet.

Die Entladung ergab als Mittel aus 3 Versuchen:

Zeit Std.	A.	A.-Std.	g Säure in 100 ccm	g verd. Säure verbraucht	g H_2SO_4	g gebund. H_2SO_4
22½	20,13	296,35	23,19	410	884 – 508	606,6

Auf 1 A.-Std. wurden gebunden 2,04 g H_2SO_4.

Durch den Ladungsstrom wird das Bleisulfat zersetzt und SO_4 abgeschieden, welche für sich allein nicht bestehen kann und aus dem Wasser H_2 entzieht und H_2SO_4 bildet, wobei ein Atom Sauerstoff frei wird und mit dem Bleioxyd PbO der positiven Platten zu PbO_2 verbindet, wobei wohl noch ein Molekül Wasser als Hydratwasser gebunden wird. Beim Entladen wurden dieselben Vorgänge im entgegengesetzten Sinne beobachtet.

Wird eine Zelle geladen, so tritt die elektrochemische Wirkung zunächst bei jenem Teil der Säure auf, welche sich in der Füllmasse der Platten befindet, sie beträgt für die sieben Platten 597 ccm, hieraus entsteht eine Ungenauigkeit beim Untersuchen der aus der Zelle behufs Untersuchung entleerten Säure nach dem Laden und Entladen.

Für weitere Versuche wurde die Säure der Versuchszelle von 3 auf 5 Liter vermehrt und die entwickelten Gase beim Laden aufgefangen und festgestellt. Bis zur beendeten Ladung erhielt man entwickelten Wasserstoff reduzirt auf 705 mm Barometerstand und 0.09859 ccm oder 0,881 g. Rechnet man 0,036 g H = 1 A.-Std., so ist das gleich 24,48 A.-Std. Zum Laden brauchte man 321,5 A.-Std., aufgespeichert wurden demnach 321,5 — 24,48 = 297 A.-Std. Hieraus ergiebt sich: freigemachte Säure

Digitized by Google

beim Laden 656,9 g dividiert durch 297 A.-Std. = 2,21 g H_2SO_4, welche durch 1 A.-Std. frei gemacht werden.

Die Wirkung der verdünnten Schwefelsäure bei den Accumulatoren ist demnach ziffermäßig klargestellt, sie wird durch die reduzierende Wirkung des elektrischen Stromes beim Laden aus den Bleiverbindungen frei gemacht und hierdurch chemische resp. elektrische Energie aufgespeichert. Beim Entladen wird die Säure vom schwammigen Blei gebunden, wobei die Verbindungswärme in elektrische Energie umgesetzt wird.

Über die chemischen Vorgänge in Accumulatoren.

Von Prof. W. E. Ayrton, C. Lamb und E. Smith.

I.*)

Anläßlich des auch in der „E. T. Z." wiedergegebenen Vortrages derselben Autoren „über den Wirkungsgrad von Sekundärelementen" wurde erwähnt, daß in Accumulatoren mit Füllmasse (nun seit 9 Jahren bekannt) die chemischen Vorgänge während der verschiedenen Stadien der Ladung und Entladung nur geschätzt, keineswegs aber durch entscheidende Versuche endgültig festgestellt worden waren.

Verschiedene Chemiker haben zwar Analysen von Bleisalzen angestellt, welche mehrfach mit H_2SO_4 behandelt worden waren, aber augenscheinlich nicht von wirklich im Betriebe befindlichen Accumulatorenplatten. Vorliegende Abhandlung giebt die Resultate einer eingehenden Untersuchung der Füllmasse positiver und negativer Platten eines E. P. S.-Accumulators Type 1888 für alle Stadien der Ladung und Entladung.

Es wurden zunächst die im vorzüglichen Zustande befindlichen Zellen mehrmals unausgesetzt mit 9 A. geladen und mit 10 A. entladen, um den sogenannten konstanten Betriebszustand herbeizuführen; die punktierten Kurven in Fig. 1 und 2 zeigen die starke Ladung und Entladung am 28. Juni; während der nächsten Ladung, durch die ausgezogene Kurve in Fig. 1 gegeben, wurde an den Punkten A, B, C und D (bezügliche Potentialdifferenzen 2,134—2,2—2,234—2,4) Füllmasse von beiden Platten entnommen, indem die positiven Platten zusammen aus der Flüssigkeit gehoben, die negativen jedoch zur Vermeidung von Oxydation darin belassen und anderweitig behandelt wurden. Zur Entnahme der Proben waren etwa 15—20 Minuten erforderlich, nach welcher Zeit der Widerstand des Stromkreises wenn nötig für eine Stromstärke von 9 A. reguliert wird. Die Stromunterbrechungsdauer ist in den Kurven nicht an-

*) s. Elektr. Zeitschrift Berlin 6/2. 91.

Digitized by Google

gezeigt, d. h. die nach Wiedereinsetzung der Platten beobachtete Potentialdifferenz hat dieselbe Abscisse wie die Potentialdifferenz vor Stromunterbrechung. Entgegen den Befürchtungen, daß diese Manipulationen die

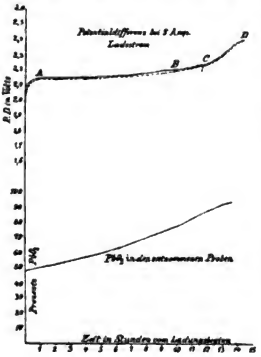


Fig. 1.

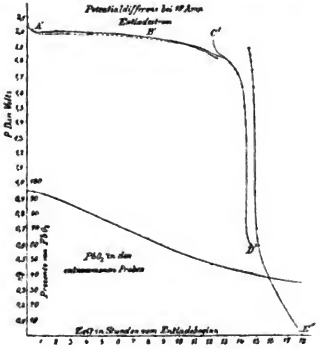


Fig. 2.

Potentialdifferenzkurve diskontinuierlich machen würde, zeigte sich absolute Kontinuität der Kurven.

Die Ladung der Zellen wurde bis zu einer Potentialdifferenz von 2,4 V. getrieben, die Entladung jedoch bis nahezu 0, da man annahm, daß die Entfernung der Füllmasse die Zellen verdorben hätte. Proben wurden an den Punkten A' B' C'' D' E' für bzw. 2—1,95—1,85—0,6—0 V.) entnommen.

II. Methoden zur Entnahme der Proben.

Für die ersten Entnahmen im Punkte A (Fig. 1) wurde eine gekrümmte zugespitzte Glasstange (Fig. 3) zum Ausstechen der Proben verwandt, was jedoch in der Härte der Masse seine Schwierigkeit fand; die Füllmasse wurde sodann mittels einer Glasstange in Holzgriff gelockert und durch eine Hartholzstange ausgestoßen, in weithalsige Flaschen mit 3—400 ccm Inhalt gebracht und in destillirtem Wasser gewaschen; auch diese Methode zeigte sich wegen der Vermischung der Proben mit Holz und Glassplittern sehr mißlich. Die negativen Proben wurden unter der Flüssigkeit durch lange gekrümmte Glasstäbe und hölzerne Tröge (Fig. 4) entnommen,

Fig. 3.

Fig. 4.

Digitized by Google

eine Manipulation, welche durch die weichere Beschaffenheit dieser Platten bedeutend erleichtert war; die hölzernen Tröge enthielten genug Wasser, um die Proben, ohne sie der Luft auszusetzen, in die Waschflaschen zu bringen, deren H_2O durch Wasserstoff desoxydiert worden war und bis zur völligen Neutralreaktion gewechselt wurde.

Die Proben wurden jedesmal von der Aufhängeecke und der dieser diagonal gegenüberliegenden Ecke entnommen, um eventuelle Unterschiede in der Strombichte über der Platte zu finden.

III. Aussehen der Platten bei Entnahme der Proben.

Ladung.

Positive Platten.	Negative Platten.
Punkt A, Kurve 1; Klemmenspannung 2,134 V.; spez. Gew. der Säure 1,178.	
Der obere Teil der Platten zeigte eine graubraune Farbe und war anscheinend mit einer dünnen Schichte weißen Bleisulfats überzogen; unterer Teil der Platten rotbraun; obere Füllmasse hart, untere ganz weich.	Oberer Teil der Füllmasse am weichsten.
Punkt B, Kurve 1; Klemmenspannung 2,2 V.; spez. Gew. der Säure 1,198.	
Füllmasse keine Spur von weiß, überall etwas dunkler rotbraun wie vorher.	Füllmasse oben und unten härter als zuvor, speziell oben.
Punkt C, Kurve 1; Klemmenspannung 2,234 V.; spez. Gewicht der Säure 1,201.	
Vorige Ladung vermehrt.	Vorige Ladung vermehrt.
Punkt D, Kurve 1; Klemmenspannung 2,4 V.; spez. Gew. der Säure 1,206.	
Platten von tiefbrauner Farbe des Bleiperoxyds; obere Teile der Füllmasse weicher, untere wie anfänglich.	Starker Metallglanz der Füllmasse wie Silber; obere Teile am härtesten.

Entladung.

Positive Platten.	Negative Platten.
Punkt A', Kurve 2; Klemmenspannung 1,998 V.; spez. Gew. der Säure 1,205.	
Füllmasse oben härter als unten.	Füllmasse ebenso stark metallisch glänzend wie beim Ladungsende.
Punkt C', Kurve 2; Klemmenspannung 1,850 V.; spez. Gew. der Säure 1,180.	
Füllmasse viel härter.	Platten entschieden weiß durch und durch.
Punkt D', Kurve 2; Klemmenspannung 0,6 V.; spez. Gew. der Säure 1,175.	
Füllmasse sehr hart besonders unten.	Füllmasse etwas weicher.

Digitized by Google

Punkt E', Kurve 2; Klemmenspannung 0 V.; spez. Gew. der Säure 1,172. Füllmasse so hart, daß sie bei Entnahme splitterte.

Die Gasentwickelung an den negativen Platten verschwand, sobald die Entladeklemmenspannung auf 1,85 V. fiel (Punkt C', Kurve 2) und begann wieder am Ende der Entladung.

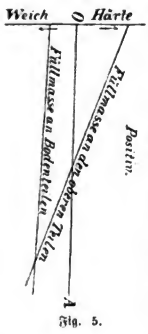


Fig. 5.

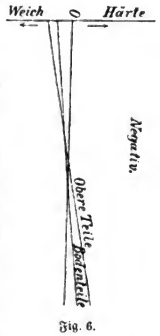


Fig. 6.

Fig. 5 und 6 stellen das Verhalten der Füllmasse bezüglich ihrer Härte graphisch dar, obgleich für diese Eigenschaft bloß das Gefühl als Maßstab genommen werden konnte. Es ist ersichtlich, daß die oberen Teile der Platten stärkeren Variationen ausgesetzt waren wie die Bodenteile, was auch mit dem Ergebnis der chemischen Analyse übereinstimmt, obgleich die chemischen Veränderungen nicht so ausgeprägt waren wie die der Härteeigenschaft.

Figur	Stellung der Klemmen	Beschaffenheit von Mutter und Schraube T	Streifenlänge cm	Strom A	Potentialdifferenz V	Widerstand Ω
7	A—D	—	—	8	0,00187	0,000230
	A—C	—	8,25	8	0,00117	0,000150
	A—B	—	3,81	8	0,00060	0,000070
	T—A	Schmutzig	Draht an T gepreßt	8	0,00038	0,000047
		Rein		8	0,00028	0,000035
		Schmutzig	„ „geschraubt	8	0,00028	0,000035
		Rein		8	0,00025	0,000031
8	E—H	—	16,51	8	0,00219	0,000270
	F—H	—	10,16	8	0,00126	0,000160
	G—H	—	3,81	8	0,00049	0,000060
	T—H	Schmutzig	—	8	0,00021	0,000030
		Rein	—	8	0,00021	0,000030
9	K—L	Schmutzig	—	8	0,00522	0,000650
	T—O	Schmutzig	—	8	0,00063	0,000080
		Rein	—	8	0,00057	0,000070
	K—L	Sehr schmutzig	33,02	5	0,00500	0,001000
	T—O	Sehr schmutzig	—	3	0,00524	0,001750
		Rein	—	10	0,00044	0,000044

Digitized by Google

Es wurden sodann folgende Untersuchungen ausgeführt, um den Einfluß des Widerstandes der Verbindungsbleistreifen festzustellen. An verschiedenen blank geschabten Stellen der Bleistreifen wurden metallisch reine Klemmschrauben angesetzt und die zwischen je zwei solchen Punkten herrschende Potentialdifferenz für eine gewisse Stromstärke im Accumulator mittels sehr empfindlicher Reflexionsvoltmeter ermittelt; der Widerstand zwischen den Punkten ergab sich demnach aus

$$\frac{\text{Potentialdifferenz}}{\text{Stromstärke}}.$$

(Die Figuren 7, 8, 9, zeigen die Stellung der Klemmen, welche in der Tabelle angeführt sind.)

Der Widerstand einer im reinen Zustande fest zusammengeschraubten Streifenverbindung, die durch den Säuredunst verunreinigt ist, beträgt

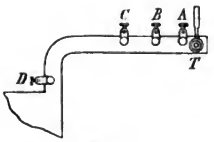


Fig. 7.

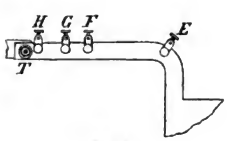


Fig. 8.

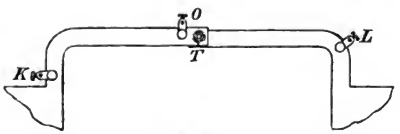


Fig. 9.

demnach den 75fachen Wert vom Mittleren Widerstandes eines Accumulators entfällt auf die Bleistreifen, so daß durch Vernachlässigung der Kontakte der Widerstandswert um 25% sich vergrößern kann; es ist vorteilhaft, die Kontakte mit heißem Paraffinwachs zu schützen und die Accumulatoren oben gegen den Säuredunst abzuschließen (natürlich nicht gasdicht).

IV. Analyse der Füllmasse.

Die Resultate der Analysen sind bereits graphisch in den Kurven 1 und 2 niedergelegt; die chemische Untersuchung der Füllmasse wurde in der Weise bethätigt, daß die säurefrei gewaschenen und längere Zeit bei 120° C. getrockneten Proben zunächst im Achatmörser gepulvert, von Fremdkörpern befreit und sodann in den abgewogenen Analysenproben nochmals bei

Digitized by Google

140° C. getrocknet wurden, worauf aufgelöst und abfiltriert wurde. Wegen der geringen Menge unlöslichen Bleisulfats wurde das Peroxyd nach der von Sutton in seiner „Volumetric Analysis“ angegebenen Ammoniumoxalat und Permanganat-Methode ermittelt; es ergab sich, daß das Peroxyd sich im Anfange der Entladung mit einer Schichte weißen Bleisulfats zu überziehen beginnt, welche die fernere Wirkung des Peroxyds verhindert, und daß — wie dies auch von früheren Experimentatoren beobachtet wurde — am Ende der Entladung noch ziemlich viel aktives Material vorhanden war; die weiche pulverartige Oberfläche der positiven Platten schien völlig in Bleisulfat verwandelt worden zu sein. Sobald das Bleiperoxyd in der Plattenoberfläche auf 31% fällt, sinkt auch die E. M. K. der Accumulatoren herab, da die Sulfatschichte die Wirkung der Säure auf das aktive Material verhindert; die Diffusion der Säure nimmt ab und wenn auch das Platteninnere 31% PbO_2 enthält, so fällt die E. M. K. auf

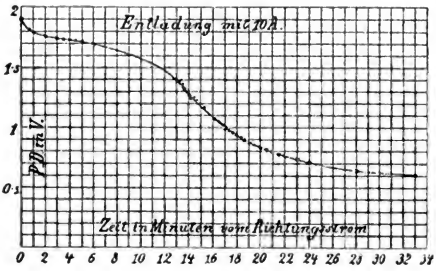


Fig. 10.

0 herab und zwar da am raschesten, wo die größte Stromdichte herrscht die Platten werden bei der Entladung am raschesten hart und oxydieren sich am raschesten bei der Ladung.

Wird die von der Zelle ausgegebene Energie durch die Umwandlung von PbO_2 und Pb in $PbSO_4$ erhalten, so müßte eine konstante Klemmenspannung der Zelle für konstanten Strom mit einem bestimmten Variationsverhältnis des Peroxydprozentsatzes in den positiven Platten übereinstimmen.

$$\text{Potentialdifferenz} \propto \frac{d\,(PbO_2)}{dt},$$

eine Beziehung, welche durch die Entladungskurve bestätigt wird.

Die Abnahme der Klemmenspannung gegen Ende der zu weit getriebenen Entladung erfolgte sehr rasch (Fig. 10), was daraus erklärlich ist, daß das PbO_3 an der negativen Platte rascher gebildet wird, als es

Digitized by Google

die lokalen Wirkungen entfernen könnten; es wurde dies durch die chemische Analyse der bei D' entnommenen Proben erwiesen.

Bei E' (Fig. 2) kehrte die E. M. K. um, nahm jedoch bei Unterbrechung des Entladestromes wieder die normale Richtung an (Fig. 11.) Ein Accumulator kann vollkommen entladen und sodann in falscher Richtung geladen werden und wird dennoch nach Entfernung von den Leitungen sehr rasch sich in normaler Richtung regenerieren.

V. Wirkung der Ruhe auf geladene Accumulatoren.

In der früheren Abhandlung der Verfasser über denselben Gegenstand wurde gezeigt, daß durch eine Serie von 9 A. Ladungen und 10 A. Entladungen zwischen den Potentialdifferenzgrenzen von 1,8 V. und 2,4 V. per

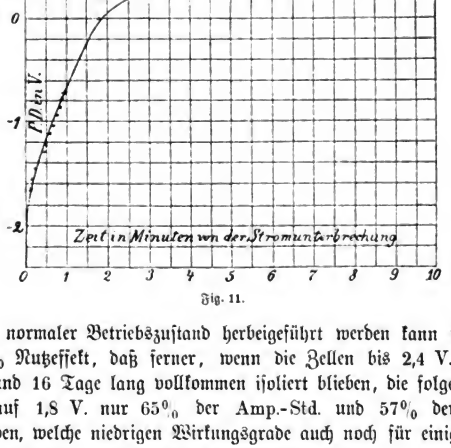


Fig. 11.

Zelle ein normaler Betriebszustand herbeigeführt werden kann mit 97% und 87% Nutzeffekt, daß ferner, wenn die Zellen bis 2,4 V. geladen wurden und 16 Tage lang vollkommen isoliert blieben, die folgende Entladung auf 1,8 V. nur 65% der Amp.-Std. und 57% der Energie wiedergaben, welche niedrigen Wirkungsgrade auch noch für einige darauf folgende Ladungen und Entladungen vorhanden sind.

Es wurde zur genaueren Untersuchung dieser Erscheinungen ein kleiner E. P. S.-Accumulator bis 2,4 V. geladen und sodann die positiven Platten in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure (1,2 Dichte) gebracht, während die negativen im ursprünglichen Accumulatorengefäß blieben; beide Platten

Digitized by Google

erhielten sodann Guttaperchakappen, welche in die Flüssigkeit tauchten und oben eine luftdicht einpassende vertikale Glasröhre mit Teilung besaßen; die täglich entwickelte Gasmenge wurde durch das Fallen der Säure in der Röhre konstatiert. Die positiven Platten entwickelten kein Gas, bei den negativen war die Gasentwickelung erst langsam, dann rascher und schließlich wieder langsam.

Datum	Zeit	ccm H	Zeit der Gasentwickelung
15. November	11 h 45′	0	0
17. „	10	2	46
20. „	12	52	120
21. „	10	72	142
22. „	10	87	160

Wenn das Blei der positiven Platten in $PbSO^4$ durch Lokalaktion umgesetzt wurde, so entsprachen 87 ccm H etwa 0,81 g umgesetzten Bleies.

Hieraus mag sich der eben erwähnte Energieverlust erklären, indem Pb von der negativen Platte stets in Oxyd oder Salz verwandelt wird; das ungleiche Verhalten positiver und negativer Platten kommt bei der darauf folgenden Entladung zum Ausdruck, ebenso als ob ein Teil der negativen Platten aus der Zelle entfernt worden wäre.

VI. Formierung der E. P. S.-Platten.

Um ein Abbröckeln der positiven Plattenfüllungen bei vollkommener Formierung zu vermeiden, erhalten dieselben etwa 48% mehr PbO_2 als zur chemischen Wirkung nötig; der neue Prozeß zur Formierung ist der folgende:

\+ Platten (200—225—6,35 mm) 2 A. pro Platte oder 0,45 A. pro qdm für 18 h

— Platten (228—244—4,8 mm) 1,5—2 A. pro Platte oder 0,27—0,37 A. pro qdm für 120 h

letztere ohne Pausen formiert.

Vor der Formierung werden die Platten getrocknet, um sie härter zu machen; die positiven Platten werden vom Empfänger noch weitere 40 h formiert, da bei voller Formierung der Transport sehr schwierig wäre. Die Dichte der Säurelösung für Mennigfüllmasse beträgt 1,1, für die Lithargiummasse 1,2.

Die früher in den Zellen auftretende Krümmung der Platten wurde durch die Anordnung von negativen Platten auf beiden Seiten sehr redu-

Digitized by Google

ziert, indem hiermit die ungleiche chemische Wirkung auf den zwei Seiten der positiven Platten wegfiel.

Untersuchungen von Dr. Strecker.

Eine treffliche Zusammenstellung der bis 1888 gegebenen Erklärungen über den chemischen Vorgang im Accumulator findet sich in dem Werke von E. Hoppe, „Die Accumulatoren für Elektrizität." An diese Zusammenstellung schließen sich die Arbeiten von Kohlrausch und Heim (E. Z. 1889), von Frankland und Ayrton (E. Z. 1890), von Ayrton, Lamb und Smith (E. Z. 1891) und von Dr. Hans Strecker (E. Z. 1891). Weitere Abhandlungen enthalten Comptes Rendus 1882, Poggendorff's und Wiedemann's Annalen, la Lumière Electrique u. s. w.

Im Eingang seiner Untersuchungen weist Dr. Strecker darauf hin, daß die Theorie des chemischen Vorganges in den Blei-Accumulatoren erst dann richtig wiedergegeben werden kann, wenn die chemische Zusammensetzung der Körper, welche bei der Ladung und Entladung des Accumulators in Wechselwirkung treten, genau erkannt ist, daß daher die direkte chemische Analyse der Plattenüberzüge, wie solche von Ayrton u. s. w. ausgeführt wurde, diese Frage nicht lösen kann, weil die auf den Elektroden niederschlagenden Jonen sich schon in der Schwefelsäure der Zelle und in Berührung mit Luft zersetzen.

Strecker behandelt nun zunächst die Frage, ob auf den Bleiplatten Bleisulfat gebildet werde. Nachdem derselbe die Erörterung der verschiedenen Autoren für und wider die Bildung von Sulfat auf den Platten besprochen hat, gelangt er zu der Überzeugung, daß sich während der Ladung Bleisulfat auf den Platten zersetzt und Schwefelsäure frei wird, dagegen während der Entladung Schwefelsäure (H_2SO_4) aus dem Elektrolyt verschwindet, um Bleisulfat ($PbSO_4$) zu bilden.

Über die Rolle, welche dem Bleisulfat in dem chemischen Prozesse der Ladung und Entladung zukommt, lassen sich, wie Strecker angiebt, zwei Theorien aufstellen:

1. Die Entladung ist die Folge Entstehens von Bleisulfat auf den beiden Elektroden, während die Ladung in der Beseitigung des Bleisulfats besteht.

2. Die Bildung und die Zerstörung von Bleisulfat ist nur eine Begleiterscheinung anderer Reaktionen und für die Wirkung des Elementes unwesentlich.

Alsdann wurde die Frage der Erschöpfung des Accumulators oder die Ursache des Verfalls der E. M. K. des Accumulators von Dr. Strecker

Digitized by Google

behandelt und gelangt derselbe nach seinen Untersuchungen zu der Folgerung, daß bei den bekannten Arten von Accumulatoren und bei einer vorschriftsmäßigen Behandlung derselben der Spannungsabfall in der Zelle nur von der Erschöpfung der Kathode herrührt, daß mithin die Oxydation des Bleischwammes die Erschöpfung der Zelle bedingt.

Nachdem Strecker noch eine eingehende Studie über die chemische Natur der Anode und Kathode angestellt hat, giebt derselbe als Ergebnis der Versuche über den chemischen Vorgang im Accumulator die nachstehende Theorie:

„Schließen wir den Ladungsstrom, so wird Wasser zersetzt. Es tritt dann an der Anode Sauerstoff auf, der schwefelsaures Blei zu Bleisuperoxyd oxydiert. An der Kathode reduziert der elektrolytische Wasserstoff Bleisulfat und Bleioxyd zu metallischem Blei.

Beide Platten sind geladen, wenn an ihnen Gas stürmisch entweicht. Bei der Entladung wird wieder Wasser zersetzt, jedoch so, daß diesmal an der Anode Wasserstoff auftritt, welcher Bleisuperoxyd zu Bleioxyd reduziert. Dieses Bleioxyd bildet nun mit Schwefelsäure Bleisulfat. An der Kathode tritt der Sauerstoff auf, der Blei zu Bleioxyd oxydiert, welches mit Schwefelsäure Sulfat bildet. Außer diesen Produkten bildet sich nach Streintz*) bei der Entladung auf der negativen Platte neben Bleioxyd noch Bleisuperoxyd, dessen geringere oder größere Menge von der Stromdichte abhängen wird.

Neben dem Hauptprozeß treten noch Nebenprozesse auf, die man mit dem Namen der „Lokalaktion" bezeichnet hat. Diese Prozesse gehen schon in der offenen Zelle vor sich und können auch während Ladung und Entladung nebenher auftreten. Sie sind insofern von Belang, als sie Bleisulfat bilden, welches einen Verlust an Strom bedeutet und außerdem für die Platten schädlich ist.

An der positiven Platte ist die Lokalaktion zwischen Bleisuperoxyd und dem Blei der Platte nach Gladstone und Tribe**) so auszudrücken:

I. Phase:

$$PbO_2 + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O + O.$$

II. Phase:

$$Pb + O_2 = PbO_2.$$

An der negativen Platte spielt sich folgender Prozeß ab:

$$Pb + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2.$$

Für die Betrachtung des die Stromwirkung verursachenden chemischen

*) Wiedem. Ann. 1889, Bd. 38.

**) Gladstone und Tribe. E. T. Z. 1883. Bd. 4, S. 14.

Digitized by Google

Vorganges in dem Accumulator hat die Lokalaktion jedoch keine wesentliche Bedeutung, da sie ja immer nur Sulfat, bzw. Superoxyd erzeugt.

Canter*) hat festgestellt, daß der Wasserstoff, der bei der Ladung und Entladung nicht frei auftritt, sich mit Sauerstoff zu Wasser vereinigt, indem er entweder PbO oder $PbSO_4$, das wir ja als $PbOSO_3$ schreiben können, den Sauerstoff entzieht.

Es muß also die Änderung des spezifischen Gewichtes bei der Ladung abhängen von dem Wasserstoff, der gasförmig entweicht, also kein Wasser zurückbildet, außerdem aber von der Menge SO_3, die durch Reduktion des schwefelsauren Bleioxydes frei ward, schließlich von der Menge SO_3, die dem Sauerstoff äquivalent ist, der zur Oxydation des schwefelsauren Bleioxydes verbraucht wurde.

W. Kohlrausch und E. Heim**) haben gezeigt, daß die beobachtete Änderung des spezifischen Gewichtes bei Ladung und Entladung mit den einfachen Gleichungen übereinstimmt.

Ladung.

Anode:

$$PbSO_4 + 2H_2O + SO_4 = PbO_2 + 2H_2SO_4.$$

Kathode:

$$PbSO_4 + H_2 = Pb + SO_4H_2.$$

Entladung.

Anode:

$$PbO_2 + H_2SO_4 + H_2 = PbSO_4 + 2H_2O.$$

Kathode:

$$Pb + SO_4 = PbSO_4.$$

Diese Gleichungen drücken jedoch nicht aus, daß Ladung und Entladung in erster Linie durch das an den Platten wechselnde Auftreten der Gase bedingt werden.

Folgende Gleichungen die denen von W. Kohlrausch und E. Heim im Wesentlichen quantitativ entsprechen,

Ladung.

Anode:

$$PbOSO_3 + O = PbO_2 + SO_3.$$

Kathode:

$$PbOSO_3 + H_2 = Pb + SO_3 + H_2O.$$

*) Canter. Monatshefte für Chemie (Wien). Bd. XI., S. 438 und 441.

**) W. Kohlrausch und E. Heim. E. T. Z. 1889, Bd. X., S. 327 und 328.

Digitized by Google

Entladung.

Anode:

$$\text{I. } PbOO + H_2 = PbO + H_2O.$$
$$\text{II. } PbO + SO_3 = PbOSO_3.$$

Kathode:

$$\text{I. } Pb + O = PbO.$$
$$\text{II. } PbO + SO_3 = PbOSO_3.$$

zeigen deutlich die den Gasen zukommenden Rollen. Bei der Ladung und Entladung wird ein Molekül Wasser zersetzt. Die auftretenden Gase H_2 und O setzen beide je ein Molekül SO_3 in Freiheit, welches sich dann mit H_2O zu H_2SO_4 vereinigt.

Der in Reaktion tretende Wasserstoff bildet stets wieder Wasser zurück, so daß also die Änderung des spezifischen Gewichtes nur von dem wechselnden Gehalt der Säure an SO_3 herrührt, wenn man von dem geringen Verluste absieht, der durch das Entweichen von Wasserstoff entsteht.

Andere Reaktionsprodukte, wie Wasserstoffsuperoxyd, Überschwefelsäure, schweflige Säure und Schwefelwasserstoff, welchen letzteren ich Gelegenheit hatte, öfter zu bemerken, können bei dem chemischen Vorgang in dem Accumulator in untergeordnetem Maße zwar auftreten, sind jedoch nicht von Bedeutung für den stromgebenden Prozeß.

In ganz neuer Zeit hat nun Dr. Moscheles*) noch auf eine sekundäre Verbindung, welche im Accumulator durch Schwefelsäure gebildet wird, hingewiesen. Es ist dies eine neue Oxydationsstufe des Schwefels und von Traube Schwefeltetoxyd (SO_4) genannt. Berthelot fand, daß bei der Einwirkung eines starken elektrischen Stromes auf ein Gemenge von schwefliger Säure (SO_2) und Sauerstoff (O) sich neben der Schwefelsäure (SO_3) noch ein Körper von der Zusammenstellung S_2O_7 bildet, welcher nach späteren Untersuchungen von Traube nur die Lösung eines Körpers von der Zusammensetzung SO_4 in SO_3 sein kann und demnach Sulfurhyperoxyd ist.

Nach weiteren Angaben gelangt Moscheles zu dem Schlusse, „daß unter der Annahme der sekundären Bildung von SO_4 im Accumulator unter geeigneten Verhältnissen es zuweilen vorkommen muß, daß derselbe beim wiederholten Laden und Entladen eine Unwirksamkeit erleidet, welche einhergeht mit einer Abscheidung von Blei und Bleisulfat auf der Superoxydplatte unter Entwickelung von inaktivem Sauerstoff, was auch schon thatsächlich teilweise beobachtet worden ist."

Für die weitere Entwickelung der Accumulatoren ist es nun von größter

*) Mitth. des Berl. Elektrotechniker-Vereins Nr. 2, 1892.

Digitized by Google

Wichtigkeit, der Frage näher zu treten, ob sich auf der positiven Platte in der That Bleisuperoxydhydrat, sowie die sekundäre Verbindung $S O_4$ im Accumulator bildet. Bis jetzt hat die Elektrochemie die Lösung dieser Frage noch nicht erzielt. Allerdings ist nicht zu verkennen, daß mannigfache Schwierigkeiten in Betreff der Lösung dieser Frage zu überwinden sein werden; indessen scheint eine gedeihliche weitere Entwickelung der Accumulatoren in ersterer Linie von der Lösung dieses Problems abzuhängen, da dadurch eine andere Gestaltung des gegenwärtig erheblich schweren Accumulators nicht ausgeschlossen erscheint. J. Sack wirft hier die Frage auf, ob das Resultat der Untersuchungen, sich bei den verschiedenen Konstruktionen von Platten wohl verschieden gestalten möchte, insbesondere bei solchen, wo die aktive Masse über den Bleiträger hervorragt.

Wir wissen, daß nicht allein das erhebliche Gewicht, sondern auch die Dauerhaftigkeit des Accumulators der Verwendung desselben in manchen Fällen sehr hindernd im Wege steht. Der Vorteil, welcher somit durch die Verminderung des Gewichtes und die Erhöhung der Dauerhaftigkeit herbeigeführt wird, darf daher als ein ganz enormer bezeichnet werden, und dieser Umstand sollte sicherlich die Elektrochemiker zu weiteren Untersuchungen über die inneren Vorgänge im Accumulator anzuregen vermögen, umsomehr, als mit der Lösung dieser Frage ganz erhebliche, pekuniäre Einnahmen verbunden sind.

Untersuchungen von Jahr.

Das Bestreben, einen Accumulator zu konstruieren, welcher entgegen den älteren Systemen viel aktive Masse enthält, und im Verhältnis dazu wenig Blei sowie ferner dasjenige, das Blei möglichst vor Zerstörungen durch Formation zu schützen, führte mich zu eingehenden Messungen über den spezifischen Widerstand der aktiven Masse. Nach verschiedenen mißglückten Versuchen konstruierte ich einen Apparat zu diesen Meßungen in folgender Weise: In ein Hartgummistück von circa 20 mm im Quadrat wurde eine Rinne von genau 25 □ mm Querschnitt eingefraist. Die Länge dieser Rinne wurde durch eingesetzte Platin-Elektroden auf genau 250 mm gebracht und füllte sie nach und nach mit unformierter aktiver Masse, d. h. dem Gemisch von Bleioxyden aus. Ich benutzte für die Formation diesen ganzen Apparat als eine Elektrode, indem ich die Platin-Flächen, welche mit Platin-Zuführungen versehen waren, parallel schaltete, und als andere Elektrode eine Bleiplatte nahm. Nachdem die ganze Säule von aktiver Masse gehörig durchformiert war, entfernte ich den ganzen Apparat aus der Schwefelsäure und maß mittels Wechselstrominduktors

Digitized by Google

und Telephon den Widerstand dieser feuchten Säule von aktiver Masse. Ich muß zugeben, daß die gefundenen Resultate nicht absolut zuverlässig sind, doch habe ich aus verschiedenen Messungen Mittelwerte ausgezogen, welche immerhin einiger Beachtung wert sind. Demnach stellt sich der spezifische Widerstand der aktiven Masse, auf Quecksilber bezogen auf 150 bis 170, der der negativen aktiven Masse auf circa 70 bis 80 Ohm. Der Widerstand ist im halb feuchten Zustand, nachdem alle Säure von dem Hartgummi-Apparat entfernt worden, und die Oberfläche desselben, um Nebenschluß zu vermeiden, mit Öl bestrichen, gemessen worden, so daß große Meßfehler fast ausgeschlossen erscheinen. Es ist leicht zu übersehen, daß es für den Nutzeffekt eines Accumulators sehr darauf ankommt, für die einzelnen Platten eine gute Stromzuführung zu schaffen, und aus demselben Grunde ist es erklärlich, warum Accumulatorenplatten mit sehr wenig Blei besonders an den Stromzuführungsstellen, d. h. an den Fahnen zuerst zerstört werden. Der spezifische Widerstand des Bleies beträgt nämlich nur 0,22, und es ist leicht ersichtlich, daß infolge des sehr großen Übergangs-Widerstands von dem Blei zur aktiven Masse der größte Teil des Stromes an der oben erwähnten Stelle übergehen muß. Aus diesem Grunde sind die Platten mit massiver Zwischenwand den einfachen Gitterplatten ohne Zweifel überlegen, denn wenn diese massive Grundplatte lediglich und ausschließlich zu einer besseren Stromzuführung, d. h. zu einer besseren Verteilung des Gesamtstromes auf die einzelne Platte sorgt, so ist es leicht zu übersehen, daß die geringe Gewichtsvermehrung im Verhältnis der Verlängerung der Lebensdauer der Platte nicht in Betracht kommt. Platten mit massiver Zwischenwand sind allerdings schon länger bekannt. Die in der gegenwärtigen Zeit hauptsächlichsten Systeme derselben sind die Platten von de Khotinsky in Gelnhausen und die Platte von Henri Tudor, Rosport. Die Platten des erst genannten Konstrukteurs haben den sehr großen Nachteil, daß sie nur in ganz schmalen Streifen hergestellt werden können, und zwar aus dem Grunde, weil sie mit hydraulischem Druck ganz analog den Bleiröhren gepreßt werden. Um nun größere Platten herzustellen, welche für die Praxis unentbehrlich sind, müssen diese schmalen Streifen aneinander gelötet werden.

Es ist leicht zu übersehen, daß eine derartige Fabrikation erstens die Herstellungskosten sehr in die Höhe drückt, ferner daß die Haltbarkeit der Platten durch die einzelnen Lötstellen illusorisch gemacht wird, und zum dritten, daß der elektrische Widerstand einer derartigen Platte im Verhältnis zu solchen Platten, welche aus einem durchgehenden Stück gegossen sind, sehr groß und infolgedessen der Nutzeffekt einer derartigen Accumulatoren-Anlage gering ist. Man braucht hierbei die Unzuträglichkeiten,

Digitized by Google

die sich durch unachtsames Arbeiten herausstellen müssen, gar nicht in Betracht zu ziehen. In der That sind Fälle vorgekommen, wo die de Khotinsky-Platten in sich zerfallen sind. Die de Khotinsky-Platte wäre, wenn der oben erwähnte Übelstand fehlte, ihrer Konkurrentin entschieden vorzuziehen, denn wie uns das Profil derselben zeigt, wird die aktive Masse bei derselben wirklich von dem Blei festgehalten, was für den Accumulatorenbau unerläßlich ist. — Genaue Messungen haben ergeben, daß die aktive Masse, welche aus einer Bleiplatte herausformiert worden ist, maximal eine Stärke von 0,26 mm erreichen kann. Sobald die Schicht aktive Masse stärker wird, blättert sie unfehlbar ab, der Strom ist gezwungen, für die gleiche Kapazität die Bleiplatte tiefer zu formieren, resp. anzugreifen, wodurch die Platte sehr schnell dem Ruin entgegen geführt wird. Dieses zeigt sich vor allen Dingen an der anderen Platte mit massiver Zwischenwand, an der Tudor-Platte, da die, die aktive Masse haltenden Nuten der Tudor-Platte nämlich, weil die Platte in einer Form gegossen wird, ziemlich stark nach außen erweitert sind, während die Rippen bei de Khotinsky sich nach innen erweitern. Es ist leicht ersichtlich, daß die aktive Masse der Tudor-Platte, namentlich bei starker Überladung mit vollem Strom, welche merkwürdigerweise von der Fabrik in den Behandlungsvorschriften ihrer Accumulatoren vorgeschrieben wird, durch überstarke Gasentwickelung, welche nach Beendigung des Ladungs-Prozesses eintritt, aus diesen nach außen erweiterten Nuten herausgedrängt werden muß. Die Porosität der aus gekneteten Bleisalzen gebildeten aktiven Masse ist nicht groß genug, die Gase ohne ernstlichen Widerstand entweichen zu lassen. Vorteilhafter wäre es entschieden, wenn die Vollendung der Ladung resp. die Überladung mit bedeutend geringerem Strom erfolgte. Es würde dann ebenso der Nutzeffekt einer Accumulatoren-Anlage um ziemlich Erhebliches steigen, denn ich habe berechtigten Grund, die Angabe der Accumulatoren-Fabrik, Aktien-Ges., daß ein Accumulator eine elektromotorische Gegenkraft von 2,65 Volt erreichen kann, zu bezweifeln. Dieselbe beträgt nach verschiedenen Messungen, welche von anderen gemacht sind und deren Richtigkeit kaum anzuzweifeln ist, nur 2,25 Volt.

Die Differenz von 0,4 Volt welche sich bei Überladung eines Accumulators mit normaler Stromstärke zeigt, scheint lediglich durch Widerstands-Vergrößerung im Accumulator hervorgerufen zu werden. Sobald nämlich der Accumulator geladen ist, d. h. sobald die aktive Masse nicht mehr imstande ist, die auftretenden Gase zu binden, wird der innige Zusammenhang der Säureschicht zwischen den einzelnen Accumulatorenplatten ganz bedeutend gelockert, und die Säureschicht bekommt einen ganz bedeutend geringeren Querschnitt. Daß in der That diese so genannte

Digitized by Google

elektromotorische Gegenkraft von der Stromstärke d. h. von dem Widerstand der stromleitenden Flüssigkeit abhängig ist, ist leicht zu ersehen, da die Gegenspannung eines Accumulators annähernd proportional der Stromstärke steigt. Dieses würde nicht der Fall sein, wenn eine wirkliche elektrische Gegenkraft im Accumulator vorhanden wäre.

Durch diese Anzeichen bewogen, machte ich den Versuch und erzeugte in einer Säule von verdünnter Schwefelsäure künstlich ganz feine verteilte Luftblasen, ähnlich, wie sie bei der Überladung in einem Accumulator entstehen, und in der That zeigte sich, daß der spezifische Widerstand der Flüssigkeitssäule ganz enorm stieg. Als Beweis für die Behauptung, daß die elektromotorische Gegenkraft in der That nur 2,25 Volt beträgt, dient ferner, daß der ungeladene Accumulator bis zur Gasentwickelung nie über 2,25 Volt steigt, und nach Erreichung dieser Spannung auch sofort mit der Gasentwickelung beginnt. Im übrigen sind wir heutenicht in der Lage, genaue Daten und Zahlen zu geben, da unsere Untersuchungen auf dem Gebiete der chemischen Vorgänge in Accumulatoren noch nicht abgeschlossen sind, und teilen nur mit, daß dieselben in nächster Zeit als geschlossenes Ganze an die Öffentlichkeit treten werden*).

II. Konstruktion der Accumulatoren.

1. Ältere Konstruktionen.

Das Sekundär-Element von Charles Kirchhoff.**)

Ganz abweichend von den vorbeschriebenen, secundären Elementen, in denen nur massive Elektrodenplatten mit einem einfachen Elektrolyt zur Verwendung gekommen sind, ist das von Charles Kirchhoff in New-York im Jahre 1861 konstruierte und demselben in Amerika patentierte Sekundärelement. Derselbe verwendet Bleioxyde und Bleisalze, sowie durchlochte Platten, wie dies später auch noch von Pulvermacher angegeben wurde.

Mit Rücksicht auf den hohen, wissenschaftlichen Wert des gedachten Elementes, dessen Vergessen, bezw. Unbeachten, lediglich in den damaligen

*) Originalbeitrag des Herrn Jahr.

**) Siehe Elektr. Anz. 1889, sowie J. Sack, die Accumulatoren, A. Hartleben, Wien 1892.

Digitized by Google

noch nicht geklärten Verhältnissen über den praktischen Wert der Verwendung von Elektrizität gelegen haben wird, dürfte es gerechtfertigt sein, im Nachstehenden das genannte, amerikanische Patent im Auszug wiederzugeben, wobei ich die von Huber im elektrotechnischen Anzeiger veröffentlichte Übersetzung zu Grunde lege, da mir das amerikanische Patent nicht zur Verfügung steht.

Zunächst verweist Kirchhoff in seiner Patentschrift auf die bekannten wissenschaftlichen Untersuchungen von Ritter u. s. w., um sekundäre Ströme zu erzeugen; er bemerkt, daß eine praktische Anwendung von denselben nicht gemacht worden sei, und zeigt alsdann, daß seine Erfindung von den bisherigen, sekundären Elementen vollständig abweicht, indem dieselbe auf folgenden Prinzipien beruht:

1. Elektrische Ströme, die einen gewissen Betrag von Strommenge oder Quantität und Widerstand oder Spannung von einer der beiden entgegengesetzten Elektrizitäten enthalten, werden nie, indem sie ihr Gleichgewicht (Equilibrium) wieder herstellen, eine elektrolytische Flüssigkeit oder ähnliche Zusammensetzung durchfließen, ohne dieselbe teilweise zu zersetzen und die getrennten Elemente, die proportional der Thätigkeit des Stromes sind, werden entweder die Elektroden umgeben, oder als Gas entweichen, oder eine andere chemische Verbindung eingehen und vice-versa.

2. Zwei Elektroden verschiedener Art, oder umgeben oder bedeckt durch verschiedene Elektrolyte oder Substanzen, erregt durch ähnliche leitende Flüssigkeiten oder Lösungen von ähnlicher Beschaffenheit und welche die Eigenschaften haben, eine (wenigstens) von ihnen aufzulösen; oder zwei Elektroden von ähnlicher Beschaffenheit, aber in verschiedene elektrische Flüssigkeiten eingetaucht, oder in verschiedene Substanzen, welche, infolge ihrer Verwandtschaft, die Eigenschaft haben, indem sie eine chemische Verbindung eingehen, eine Flüssigkeit zu bilden, werden einen elektrischen Strom erzeugen, der proportional ist der Differenz ihrer elektro-chemischen Eigenschaften.

Es wird daher, wenn ein Strom eine gewisse Menge des Elektrolytes oder der Elektrolyte zersetzt hat und demgemäß das elektro-chemische Gleichgewicht gestört ist und die getrennten Elemente (oder ihre neuen Verbindungen), die in Kontakt mit den Elektroden verbleiben, bestrebt sind, durch Wiedervereinigung ihr gestörtes Gleichgewicht wiederherzustellen, jedesmal ein entgegengesetzter elektrischer Strom erzeugt werden, sofern zu irgend einer Zeit der Rückbildung die Elektroden zweckentsprechend verbunden werden, vorausgesetzt, daß keine innere chemische oder physikalische Thätigkeit stattgefunden hat.

Irgend welcher Apparat, Anordnung oder Zusammensetzung von Elek-

Digitized by Google

troden oder Leitern, fährt Kirchhoff fort, in Verbindung oder Berührung mit, oder eingetaucht in welchen Elektrolyt, oder irgend welche Elektrolyte, oder chemische Zusammensetzungen, der in der Art und Weise, wie vorstehend angegeben wirkt, kann ein Wiedererzeuger (Regenerator) genannt werden, indem derselbe, falls er mit den notwendigen, mechanischen Nebenapparaten und Anordnungen versehen ist, die für einen günstigen Erfolg erforderlich sind, Elektrizität, die von irgend welcher Quelle kommt oder erzeugt sein mag, empfängt, zurückhält, ansammelt, vereinigt und aufbewahrt und dieselbe dann für alle Zwecke, wie irgend ein anderer elektrischer Strom, verwendet werden kann.

Kirchhoff verweist nun aus ökonomischen Gründen auf die Verwendung des Wassers als Flüssigkeit in Verbindung mit billigen Chemikalien, weil das Ozon des Wassers (nach der Definition von Schönbein), die durch keine andere Substanz übertroffene Eigenschaft besitzt, Verbindungen von sehr negativem Charakter zu veranlassen, welche sehr leicht desoxydiert werden können; z. B. es kann die höchste Oxydationsstufe von Mangan, Kalium, Natrium, Baryum, Strontium, Blei, Eisen, Silber u. dergl. durch einen elektrischen Strom in Gegenwart von Wasser erzeugt werden. Ein Wiedererzeuger nach Kirchhoff besteht in Folgendem: Ein Glas ist durch einen Bleideckel, in welchem nach unten auseinanderlaufende Elektroden aus Platin-Folie angelötet sind, verschlossen. Diese Elektroden sind durchlocht und rauh gemacht, indem sie zwischen Schmirgelpapier gehämmert sind. Es ist nicht notwendig, daß sie platiniert sind. Ein Glasrohr ist durch ein Loch im Deckel eingelassen und isoliert die in ihm aufgehängte positive Elektrode aus Platina, die fast bis auf den Boden des Glases hinabreicht; dieselbe ist unten verzweigt, ohne jedoch die Platina-Folie, die andre Elektrode, zu berühren. Das Glas ist mit einer Lösung gefüllt, die aus 6 Gewichtsteilen salpetersaurem Blei, 2 oder 3 Teilen essigsaurem Blei und einem Teil Salpeter, in 8—12 Teilen Wasser, besteht. Dieser Lösung werden, nachdem sie filtriert ist, noch 4 Teile Essigsäure, 1 Teil Salpetersäure und kaum ein sechzehntel Teil salpeter- oder essigsaures Eisen hinzugesetzt. Verbindet man den Bleideckel mit dem positiven Pol und die isolierte Elektrode mit dem negativen Pol irgend einer Elektrizitätsquelle, so wird die Folie mit dunklem Bleisuperoxyde und die positive Elektrode mit krystallisiertem Blei bedeckt; dieses ist ein sehr positives Element und das erstere (Superoxyd) das negativste, was überhaupt bekannt ist; es ist überdies ein guter Leiter.

Platina kann gespart werden, indem man die positive Elektrode aus Blei statt aus Platina macht.

Wie von Kirchhoff klar und deutlich ausgesprochen, ist der durch die

Digitized by Google

galvanische Aktion auf den Elektroden niedergeschlagene Überzug von Bleisuperoxyd, resp. metallischem Blei, derjenige Teil, der die Batterie befähigt, Elektrizität aufzuspeichern und zu fernerer Verwendung bereit zu halten.

Auch mit diesem Element sind praktische Versuche, soweit bekannt geworden, nicht angestellt worden. Und wenn auch hier bereits nachgewiesen wurde, was später zu einer so epochemachenden Erfindung gestempelt wurde, so ist dagegen in Betracht zu ziehen, daß zu jener Zeit ein Bedürfnis für Verwendung von sekundären Elementen nicht vorhanden war, auch nicht vorhanden sein konnte, weil die bis dahin bekannten galvanischen Elemente zum Laden sich schlecht eigneten und dabei noch kostspielig waren, sowie weil eine andere, billigere, elektrische Quelle nicht zu Gebote stand.

Die Platte von Camille Faure.

Camille Alphonse Faure in Paris. Patentnummer 19026 vom 8. Februar 1881. Fig. 12.

Das in diesem Patent beschriebene Verfahren zur Herstellung von Polarisations- oder Sekundär-Batterieen ist mehrfach Gegenstand von Patent-

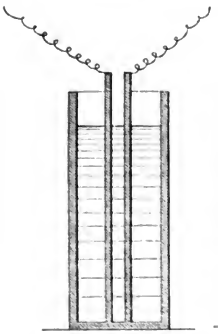


Fig. 12.

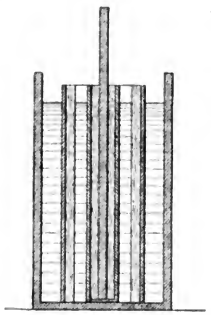


Fig. 12a.

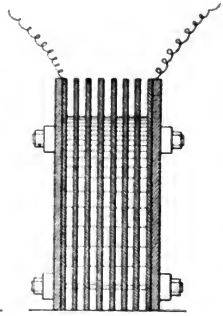


Fig. 12b.

streitigkeiten gewesen. Das Patent als solches wurde am 10. Mai 1892 vom Reichsgericht zu Leipzig als zu Recht bestehend anerkannt. Der Anspruch 1 lautet: Die vorgängige Hervorbringung bei der metallischen schwammigen porösen Schicht auf den Elementen der Sekundärbatterien sei es durch Überstreichen oder galvanische oder chemische Niederschläge, wobei diese Schicht, welche aus Blei im Zustand des Über-Oxydes, Oxydes oder unlöslicher Salze besteht, die Batterie befähigt, eine sehr große

Digitized by Google

Menge von Elektrizität aufzuspeichern und zu weiterer Verwendung bereit zu halten. Anspruch 2 und 3 beziehen sich auf die Anwendung von porösen Scheidewänden zwischen den Platten. Anspruch 4. Die Anordnung leitender Elemententräger in Gestalt von Platten oder Drähten aus Blei, welche letztere, zu Seilen gedreht oder zu Geweben geflochten, mit porösen Bleioxyden oder desgleichen Bleisalzen bedeckt und in der unter 2 erwähnten Weise mit Scheidewänden kombiniert sind.

Nachdem sich Planté vergeblich abgemüht hatte, den Formationsprozeß auf elektrischem Wege zu einer gewissen Vollendung zu bringen, wendete Camille Faure das folgende Verfahren an: Im Jahre 1881 ließ er sich in fast allen Kulturländern ein Patent erteilen, in dem er die langwierige Planté-Formation dadurch abkürzte, daß er die Bleiplatte mit einer Schicht unlöslicher Bleisalze überkleidete, welche durch einen kurzen Formationsprozeß zu Blei-Superoxyd auf den positiven und zu schwammigem Blei auf den negativen Platten umgewandelt werden.

Dieser Fortschritt war zwar sehr wesentlich, fand jedoch aus dem einfachen Grunde keine praktische Anwendung, als es schwierig wurde, die aufgetragene Schicht von Bleisalzen auf den Platten festzuhalten. Die Umhüllung der Bleiplatten mit Filz oder dergl. porösem isolierenden Material bewährte sich nicht, und es folgte nun eine große Reihe von Konstruktionen, die alle darauf hinzielten, die Bleisalze in Gittern festzuhalten. In dieser Richtung arbeiteten zunächst Sellon und Volckmar und aus den Arbeiten dieser beiden ging dann hervor der durch alle Welt bekannte

Accumulator der Electrical Power Storage Company.

Diese Gesellschaft stellte Bleigitter her, von denen Fig. 13, 14 einen Querschnitt und eine Ansicht giebt. Die Gitter wurden zunächst in einer Form aus Blei gegossen und dann durch mit Schwefelsäure angefeuchteten Bleisalzen, vor allen Dingen Mennige ausgefüllt, getrocknet und dann zu positiven oder negativen Platten durch den Formationsprozeß bearbeitet. Die Gesellschaft hat lange Jahre mit großen Mitteln die kostspieligsten und langwierigsten Versuche angestellt, um aus ihrem Unternehmen einen kommerziellen Nutzen zu erzielen. Es wurden Millionen geopfert, ohne daß man einen endgültigen Erfolg erzielt hatte, und die Gründe, warum dieses so war, lagen hauptsächlich darin, daß in verhältnismäßig kurzer Zeit eine Zerstörung der positiven Platten eintrat. Die aktive Masse dieser Platten wurde durch die Arbeit des elektrischen Stromes je länger, je mehr gelockert, zu krystallinischem Bleisuperoxyd umgewandelt und erlitt dadurch eine verhältnismäßig ziemlich große Ausdehnung. Die Ausdehnung

Digitized by Google

erfolgte in allen Teilen oft nicht gleichmäßig, oder das Bleigerippe folgte der Ausdehnung nicht überall gleichmäßig. Es entstand daher ein Abbröckeln und Zerspalten der Masse, die in sehr kurzer Zeit zur völligen Zerstörung führte. Die E. P. S. Company als auch verschiedene andere Konstrukteure, wie Julien in Brüssel, Huber in Hamburg u. s. w. versuchten diesem Übelstande durch die verschiedensten Modifikationen des Gitters als auch der Bleikompositionen abzuhelfen; besonders Herr Huber erzielte einen sehr achtungswerten Erfolg, so daß es ihm gelang, bei stationären Batterien die Abnützung der Platten auf ca. 15% per Jahr zu beschränken. Jedoch einen durchschlagenden Erfolg konnte er nicht auf die Dauer erreichen.

Veranlaßt durch die verschiedenen Mängel der ursprünglichen Gitterplatten hat die E. P. S. Company, jetzt Foreign and Colonial Electrical

Fig. 13.

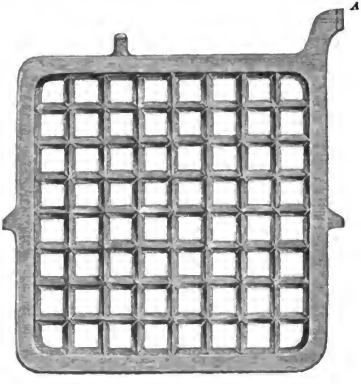


Fig. 14.

Power Storage Compan Ld., ihr System insofern verlassen, als sie nur noch die negativen Platten in Gitterform herstellt, während die positiven ähnlich der Tudor-Platte einen Bleikern mit Rippen enthalten. Die Gitterkonstruktion rührte ursprünglich von Volckmar her, welcher auch wie es scheint, überhaupt zuerst Gitter angewendet hat und auch horizontale Elektroden verwendete. Durch die Gitterform erreichte er ein geringeres Gewicht und eine Vergrößerung der aktiven Masse gegenüber den massiven Bleiplatten die Faure verwendet hatte. Er war es auch, welcher die porösen Scheidewände zwischen den Platten beseitigte. Die E. P. S. Company war diejenige Gesellschaft, welche mit Aufwand von großem Kapital

Digitized by Google

und mit energischen Versuchen den Accumulatoren überhaupt Eingang in die Praxis verschaffte. Es sind wohl viele Millionen in jahrelangen Versuchen und Probe-Installationen aufgewendet worden, ohne daß man sagen könnte, die Gesellschaft hätte die Accumulatorenfrage auch nur einigermaßen befriedigend gelöst; aber sie hat den Beweis geliefert, welchen ungeheuren Nutzen eine auch nur mäßig haltbare Platte gewährt.

Léon Somzée in Brüssel.

D. R.-P. 28759 vom 16. November 1883.

Die Konstruktion ist insofern eine Abänderung der sonst üblichen Gitterplatten, als das Gitter eine durchlöcherte Mittelwand besitzt und die aktive Masse zu beiden Seiten eingetragen wird. Es soll hierdurch erreicht werden, daß die zu beiden Seiten der Mittelwand befindliche Masse durch die Öffnung eine Verbindung erhält und dadurch festgehalten wird. Die hier angedeutete Konstruktion hat zwar keine praktische Verwendung gefunden, ist jedoch insofern lehrreich, als sie zeigt, wie mannigfach die Bemühungen gewesen sind, den Platten durch irgend welche konstruktive Anordnung eine größere Haltbarkeit zu geben. Daß diese Platte nicht haltbar ist, geht allein schon aus der einfachen Betrachtung der Fig. 15 hervor; der einzige Halt, den die aktive Masse hat, sitzt in der Mittelwand; sobald nun durch die bekannte Thätigkeit der aktiven Masse dieselbe sich ausdehnt, treibt sie nach außen auf und reißt in der Öffnung ab, muß also mit der Zeit durch Erschütterungen schließlich herausfallen, da der Bleirahmen an sich keinen Halt weiter bietet, weil die Stäbe des Gitters genau parallele Ränder haben. Ein weiteres Patent von Léon Somzée in Brüssel, Nr. 22781 vom 31. Januar 1882, bezieht sich auf die Anwendung von Drahtgittern, dünnen Röhren oder Bleischrot, das von dünnen Leitungssiften durchsetzt ist; und auf die Weise Elektroden von großer Berührungsfläche erzeugt, in deren Zwischenräumen die oxydierende Masse angehäuft wird. Die einzelnen Elektrodenkörper werden durch ein an der Oberfläche befindliches Bleinetz zusammengehalten. Auch diese Konstruktion hat in der Praxis keine Anwendung gefunden.

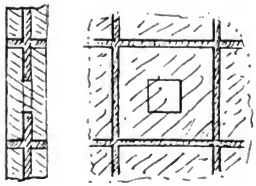


Fig 15.

Digitized by Google

John Scudamore Sellon.

Englisches Patent, Nr. 3926 vom 10. September 1881.

Die Konstruktion dieser Platten basiert darauf, die aktive Masse zwischen durchlöcherten Bleiplatten, deren Wände parallel zu einander laufen, oder die zickzackförmig oder schwalbenschwanzförmig gestaltet sind, festzuhalten, wie dies die Fig. 16 andeutet. Diese Konstruktion bildete die Vorläuferin der später von der E. P. S. Company gefertigten Gitterplatten.

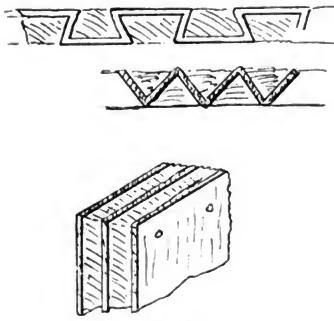


Fig. 16.

Dr. Arons Metallodium.

In demselben Sinn, wie Faure in Paris, hatte Dr Aron zu Anfang des Jahres 1880 Studien über Accumulatoren gemacht und, ehe die Arbeiten von Faure bekannt waren, Platten aus Bleischwamm hergestellt, jedoch damit keinen besonderen Erfolg erzielt. Es machte ihm große Schwierigkeiten, das Metalloxyd auf der Platte festzuhalten und er mischte zu diesem Zweck Kollodium mit Bleioxyden. Wenn auch Kollodium an sich isolierend wirkt, so wird es in der verdünnten Säure so weit leitend, daß es nicht störend wirken kann. Er nannte infolgedessen diese Mischung Metallodium und fand, daß dieselbe eine hohe Aufnahmefähigkeit für den elektrischen Strom besitzt. Er fand ferner auch*), daß, wenn man das Blei mit Salpetersäure ätzt, dieses so präparierte Blei in viel höherem Grade als gewöhnliche Bleiplatten den Strom aufnimmt. Er versuchte ferner auch eine Mischung von verdünnter Schwefelsäure unter Zusatz von Salpetersäure und fand auch hier dasselbe bestätigt.

Er erzeugte zunächst auf einer Bleiplatte in verdünnter Schwefelsäure Superoxyde mit Hilfe des elektrischen Stromes und brachte dann die Platte in die mit Salpetersäure versetzte Schwefelsäure. Das Superoxyd, welches in Salpetersäure unlöslich ist, verhinderte den allzuheftigen Angriff auf das Blei und ließ nur eine allmählich Wirkung zu. Auf die Weise erzielte er eine einen halben mm. starke wirksame Schicht und konnte schneller und

*) Siehe Elektrotechnische Zeitschrift Seite 59, 1883 Berlin.

Digitized by Google

tiefer als Planté auf das Blei einwirken. Die so präparierten Platten hielten jedoch die Ladung nicht so lange fest, wie solche mit Metallodium. Trotz der eingehendsten Studien ist es Herrn Dr. Aron nicht gelungen, das von ihm gefundene Metallodium derartig zu verbessern, daß es dauernd Eingang gefunden hätte. Derselbe äußerte in späteren Jahren, es hätte dieses wahrscheinlich daran gelegen, daß er nicht absolut reine Bleioxyde angewendet hatte, und da sich derselbe später mit seinem durch die ganze Welt bekannt gewordenen Elektrizitäts-Zähler ausschließlich befaßte, so hat er die Versuche nicht weiter aufgenommen.

2. Neuere Konstruktionen.

Die Platte von Huber.

Die vom Ingenieur J. L. Huber in Hamburg konstruierte Accumulator-Elektrode unterscheidet sich von den bisherigen gitterförmigen Elektroden

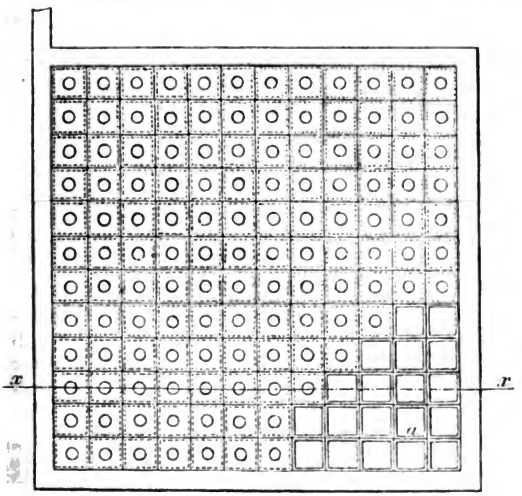


Fig. 17.

dadurch, daß die in die Maschen des Gitters eingepreßte, aktive Masse nochmals durchlöchert wird (Fig. 17 in Ansicht, Fig. 18 im Schnitt), so daß die fertige Elektrodenplatte wie ein Sieb aussieht.

Digitized by Google

Um die in Form von Gittern hergestellten Elektrodenplatten mit der aktiven Masse auszufüllen, bezw. die einzelnen Stäbe a der Gitter in diese Masse einzubetten oder die Wandungen der einzelnen Maschen mit der aktiven Masse zu bekleiden, werden diese Gitter, deren Stäbe a vorzugsweise den in Fig. 18 erkennbaren Schnitt erhalten, auf mit Zapfen versehene Unterlagen in der Weise gelegt, daß in die Gitteröffnungen diese Zapfen hineinragen.

Es wird nun in die zwischen den Zapfen und den Wandungen der Gittermaschen verbleibenden Hohlräume entweder durch Maschinen oder von Hand die als aktive Masse zu verwendende Füllung b hineingepreßt, alsdann die Platte von den Zapfen abgehoben, wodurch eben die beab-

Fig. 18.

sichtigten Öffnungen c hergestellt werden, durch deren Wandungen die mit dem Elektrolyt in Berührung kommende Oberfläche der Elektrodenplatte entsprechend vergrößert wird.

Die vorbeschriebenen Öffnungen c in der aktiven Masse der Platten können auch in der Weise hergestellt werden, daß man die Hohlräume der Gitter zuerst vollständig mit der aktiven Masse ausfüllt und dann die Löcher c durchdrückt, durchstößt oder durchbohrt.

Statt die aktive Masse vollständig zu durchlöchern, können selbstredend einfach Vertiefungen in dieselbe eingedrückt werden.

Huber erreicht durch die vorbeschriebene Konstruktion seiner gitterförmigen Elektroden in der That eine erhebliche Vergrößerung der Berührungsfläche zwischen der Elektrode und der Flüssigkeit. Sollte indessen mit Rücksicht auf die bei dem Laden und Entladen entstehende Ausdehnung und Zusammenziehung der aktiven Masse mit der Durchlöcherung der Füllung nicht der Übelstand verbunden sein, daß nach kurzer Zeit eine Ausspülung der Löcher entstehe, infolgedessen Verlust an aktiver Masse herbeigeführt werde?

Die Platte von Erich Correns in Berlin.

D. R.-P. 51031, 52853, 54371.

Das von demselben konstruierte Gitter stellt eine Verschiebung zweier Gitterplatten vor, deren beiderseitige Gitter durch dazwischen liegende Stege verbunden sind, so daß die Mitte der Quadrate der einen Seite auf die Kreuzungspunkte der Quadrate der anderen Seite fallen. An

Digitized by Google

diese Weise wird ein sehr festes und unverbiegsames Gerüst aus einer harten Bleikomposition hergestellt, das längere Zeit dem Angriff des Stromes widersteht. Die aktive Masse bildet bei der eigentümlichen Ge-

Fig. 19.

staltung des Gitters ein in sich zusammenhängendes Ganze, das von dem Gitter netzartig durchzogen und umstrickt wird und in den einzelnen Öffnungen des Gitters sich nach außen konisch verengert. Die Ausdehnung der Füllmasse preßt diese immer fester in die Maschen des Gitters auch, kann die Füllmasse durch Maschinenkraft fest hineingedrückt werden (D. R.-P. 52853). Die Füllmasse ist durch gewisse Zusätze sehr hart gemacht und ein Ausfallen von kleinen Stückchen nicht soleicht möglich. Das Gitter bildet mit der aktiven Masse zu beiden Seiten der Platte eine ebene Fläche. Die Fig. 19, 20 stellen die Correns'sche Platte in Querschnitt und Ansicht dar.

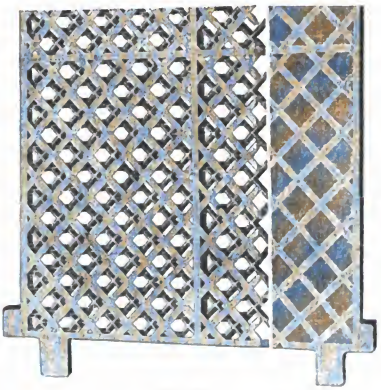


Fig. 20.

Joseph Wilson Swan.

Englisches Patent, Nr. 2272 vom 24. Mai 1881.

Die Konstruktion beruht auf Anordnung von Rinnen einseitig oder zweiseitig auf Bleiplatten, welche mit Bleioxyden ausgefüllt werden oder

Fig. 21.

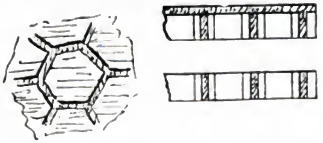


Fig. 22.

in 6seitigen Vertiefungen, die gleichfalls zum Festhalten der Füllmasse dienen sollen, s. Fig. 21, 22.

Digitized by Google

Die Platte von Gottfried Hagen in Kalk bei Köln.

Ähnlich wie Correns in seiner Platte Gitter verwendet, welche durch Stege verbunden sind, hat Gottfried Hagen auch dieses Prinzip verfolgt; jedoch liegen die beiderseitigen Gitter vollständig symmetrisch zu einander und sind in den Kreuzungspunkten durch Stege verbunden, d. h. die Öffnungen der einen Seite decken sich genau mit denen der andern. Auch bei dieser Platte liegt die aktive Masse mit der Oberfläche des Gitters bündig. Gottfried Hagen, D. R.-P. Nr. 52880 vom 19. Juli 1889. Die Platte besteht aus zwei Gitterrahmen mit quadratischen, rhombischen oder eckigen Öffnungen, die durch Stege miteinander verbunden sind, s. Fig. 23, 24.

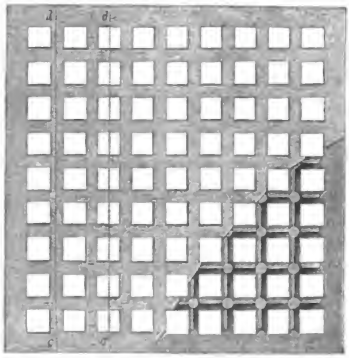


Fig. 23.

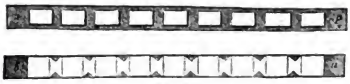


Fig. 24.

Der de Khotinsky-Accumulator.

de Khotinsky Rotterdamm, D. R.-P. 35396 vom 1885.

Die Konstruktion bietet der aktiven Masse insofern einen Halt, als dieselbe in langen gestreiften Rippenkörpern angebracht ist, welche an ihren oberen Seiten eine Verbreiterung haben. Das Bleigerippe wird durch Gießen oder Pressen in Streifen hergestellt und zu Platten zusammengesetzt (siehe auch die Fig. 30—33).

Mit welchen Schwierigkeiten die Herstellung von Accumulatoren verknüpft ist, welche unendliche Mühe und Ausdauer dazu gehört hat, die Accumulatoren bis auf die heutige Vollkommenheit zu bringen, das hat der Erfinder des de Khotinsky-Accumulators in einer umfangreichen

Digitized by Google

Broschüre sehr eingehend geschildert.*) Die Anregung zur Konstruktion von Accumulatoren erhielt Herr A. de Khotinsky im Jahre 1871 als russischer Marine-Offizier, als welcher er mit Minen-Sprengungen beschäftigt war. Ganz in der Weise von Planté versuchte er es zunächst mit aufgerollten Bleiplatten. Es zeigte sich doch sehr bald, daß die Platten zerstört wurden und zwar dadurch, daß die zwischen den Bleiplatten aufgerollte Isolierungsschicht die Ursache der Zerstörung war. Es setzte sich auf derselben Oxyde und Schlamm ab, der zu Kurzschluß Veranlassung gab, wodurch die Superoxyde-Schicht der positiven Platten zum Abfallen neigte. Es wurden nunmehr im Jahre 1874 die Bleiplatten in der Weise von einander isoliert, daß jede Platte 3 Löcher erhielt, durch welche Bolzen von Hartgummi gesteckt waren, während zwischen den Platten auf den Bolzen Weichgummiringe saßen. Auch diese Elemente gingen sehr bald zu Grunde, indem die abblätternde Superoxyd-Schicht Kurzschluß veranlaßte. Später finden wir Herrn A. de Khotinsky in Paris, woselbst er mit Herrn N. de Kabath bekannt wurde. Derselbe machte unter Beihilfe von Planté und Hospitalier im Jahre 1881 Versuche mit Planté-Zellen. Doch glückte es diesen Herren auch nicht, die Konstruktion zu einer brauchbaren Vollendung zu bringen. Die Haltbarkeit der Platten stand in gar keinem Verhältnis zum Kraftaufwand, welcher beim Formieren beansprucht wurde. Die erste Zeit stieg zwar durch fortgesetztes Laden und Entladen die Kapazität, sie erreichte nach einiger Zeit ein gewisses Maximum, ließ sich dann aber durch kein Mittel mehr auf nur einigermaßen brauchbarer Höhe erhalten; trotz alles Ladens und Formierens sank die Leistung, je weiter man Versuche machte, der Accumulator nahm zwar Ladung auf, gab aber so gut wie gar keine Energie mehr zurück. Es zeigte sich also, daß mit der höchst erreichten Leistungsfähigkeit auch schon wieder der Verfall beginnt. Dieser Umstand war die Veranlassung, darauf zu sinnen, daß man den Formierungsprozeß möglichst abkürzte und trotzdem eine große Kapazität erzielte. Dies suchte man zunächst durch große Oberfläche ganz dünner Bleistreifen zu erreichen, wie es in der unter dem Namen N. de Kabath bekannten Konstruktion der Fall ist. (acc gaufré.) Es wurden Bleibänder von 1 mm. Dicke und 1 cm. Breite dadurch zu einzelnen Elektroden vereinigt, daß man sie in großer Zahl zwischen 2 durchlöcherte Bleiplatten anordnete. Im November 1881 wurde eine besondere Fabrik für die Herstellung solcher Accumulatoren in Paris errichtet und hierbei insofern eine wesentliche Verbesserung eingeführt, als man die bisher gebrauchte Zinn-

*) s.: der de Kothinsky-Accumulator u. der Weg seiner Entstehung, beschrieben von Kapitän A. de Khotinsky, Gelnhausen 1891. F. W. Halbfleisch.

Digitized by Google

leitung durch elektrische Bleileitung ersetzte. Auch verwendete Herr de Khotinsky nunmehr hohle Elektroden mit durchlöchertem Bleimantel, die durch schwammiges Blei ausgefüllt waren. Die Formierung dieser Platten dauerte nur 3 Tage und die Kapazität war 3mal so groß als bei dem accum. gaufré. Herr de Khotinsky siedelte mit dieser Konstruktion zufolge eines günstigen Gutachtens von Herrn Preece nach London über und gründete dort mit Herrn Arnold White eine Fabrik in Charlton. Von hier aus kam er mit seiner neuen Batterie nach Rotterdamm und gründete im Jahre 1883 daselbst Electriciteits-Maatschappy Systeem de Khotinsky. Die an diesem Orte zur Verwendung kommende Versuchsbatterie enthielt die zuletzt beschriebenen Elektroden, zwischen welchen eine Füllung von kleinen Bimssteinstücken als Isolierung zwischen den Platten diente. Es dauerte jedoch nicht lange, so zeigte es sich, daß zwischen dem Bimsstein kleine Adern von Metall-Oxyden sich bildeten und zu Kurzschlüssen Veranlassung gaben. Auch wurde die Platte am untern Ende viel schneller zerstört als weiter oben. Hierdurch kam Herr de Khotinsky auf den Gedanken, das spez. Gewicht der 10%igen Schwefelsäure zu untersuchen, und es zeigte sich, daß nach mehreren Ladungen und Entladungen der Gehalt an Säure im untern Teile bis zu 30%, im oberen jedoch bis zu $2\frac{1}{2}$% nur betrug. Diese Versuche wurden in der Weise gemacht, daß vorsichtig nur bis zur Gasentwickelung geladen wurde, damit die aufsteigenden Gase die Säure nicht künstlich mischten. Da die Dichtigkeit des Stromes bei Ladung und Entladung im Verhältnis zur Plattenfläche sich im umgekehrten Verhältnis zum Widerstande der Elektrolyten verhält und die dichtere Säure besser leitet, als verdünnte, so war es klar, daß der Prozeß am untern Ende der Platten viel lebhafter vor sich ging, als weiter oben, und dadurch also der Verfall der untern Enden frühzeitig eintritt. Anstatt der Füllung mit Bimsstein umgab man die Platte auch mit Pergamentpapier und füllte die Zwischenräume mit Kies aus. Die Bestandteile wurden jedoch teilweise zersetzt, Störungen veranlaßt und man zog hieraus die Lehre, daß für die Konstruktion von Accumulatoren nur absolut chemisch reine Materialien zur Verwendung kommen dürfen.

Während man auch bisher die Verbindung der Platten und Zellen nach Art der galvanischen Batterien durch Kupferdrähte und Klemmen bewirkt hatte, wurden fortan alle Verbindungen aus Blei hergestellt und anstatt der Klemmen die Enden zusammengeschmolzen, und dieses war sehr wichtig, da durch die Entwickelung der Säure und den beim Laden sich entwickelnden Sauerstoff die einzelnen Metallteile, welche einen Kontakt vermitteln, oxydiert wurden, schlecht leiteten und so eine Erhitzung an den schlechten Verbindungsstellen eintrat.

Digitized by Google

Schon während der Versuche in England faßte Herr de Khotinsky den Gedanken, die Elektroden in horizontaler Lage anzuordnen, war jedoch zu der Sache noch nicht so weit gediehen, daß er schon in Rotterdam an die Konstruktion solcher Zellen gehen konnte. Er hoffte jedoch, durch diese Anordnung viele Mängel beseitigen zu können, und zwar aus folgenden Gründen:

Das Herausfallen der aktiven Masse aus den Elektroden kann bei horizontaler Lage nicht stattfinden, weil die Elektroden bereits auf dem Boden des Gefäßes gelagert sind. Innerer Kurzschluß durch berührende Elektroden war ausgeschlossen, da eine ganz niedrige Schweidewand positive und negative trennte. Eine schädliche Lokal-Aktion kann nicht eintreten, weil die horizontal gelagerte Oberfläche der Elektroden parallel mit der darüberliegenden Säureschicht ist und also Säure von verschiedener Dichtigkeit nicht auf die Platte drücken kann. Ein rascheres Verderben der Elektroden an den untern Enden, wie es bei der vertikalen Stellung vorkam, ist bei der horizontalen Lage der Elektroden ausgeschlossen, weil dieselbe mit ihrer ganzen Oberfläche, mit Säure von gleichem spez. Gewicht umgeben sind. Herr de Khotinsky versuchte zunächst runde Platten, in welchen Rinnen von kreisförmiger Gestalt mit aktiver Masse gefüllt waren. Später ordnete er lange, schmale Streifen an, die an dem einen Ende abwechselnd unter einander verbunden waren. Die Streifen waren durch Hartgummi-Zwischenwände in ihrer Lage von einander isoliert, und während man sie zunächst mit Bleischwamm bedeckte, verwendete man nun verschiedene Blei-Oxyde. Um jedoch eine Zelle von ca. 40 A.-Std. zu erzielen, mußte das Gefäß $80 \times 80 \times 5$ cm groß sein, außerdem war der Widerstand des Elements zu hoch, weil das Gewicht der aktiven Masse im Vergleich zur Kontaktfläche zu groß war. Zur Füllung der positiven Elektroden verwendet man chemisch reine Krystallmennige, für die negativen eine Mischung von Schuppenglätte und Mennige. Es wurden nunmehr verschiedene Konstruktionen ausprobiert, wie man am besten die aktive Masse in dem Blei festhalten könne. Die Zellen geben ein befriedigendes Resultat in ihrer Leistungsfähigkeit. Im November 1884 erfolgte die Prüfung derselben zu Rotterdam durch Prof. Dietrich aus Stuttgart. Infolgedessen wurde auf Anraten von Hospitalier in Paris im März 1885 an den Boompies zu Rotterdam ein kleines Elektrizitätswerk zu 300 Glühlampen errichtet.

Bis zum Winter 1885 verwendete man für den horizontalen Accumulator flache Kasten aus Holz, deren Innenseiten mit Segeltuch bespannt waren, über welches eine dicke Schicht von einem Teerpräparat aufgegossen war. Zu jener Zeit war es niemand möglich, entsprechende Kasten aus

Digitized by Google

Glas oder modernem Isolier-Material, welches gleichzeitig säuredicht sein mußte, zu beschaffen.

In Rotterdam hatten sich diese verwendeten Kasten sehr gut bewährt. Es stellte sich aber heraus, daß auf dem Transport, durch die Erschütterungen, die aufgegossenen Teerschichten sprangen und Undichtigkeiten daraus entstanden.

Man schaffte dagegen Abhilfe, indem man die Holzkasten mit Blei ausschlagen ließ und zwischen dem Holz- und Bleikasten eine Lage von Theerpräparat verwendete. Um die positiven Elektroden zu isolieren, legte man dieselben in flache Kästchen aus Hartgummi, während die negative Elektrode auf dem Bleikasten auflag, und dieser so ebenfalls als negative Elektrode diente.

Die verwendeten Hartgummikästchen zur Aufnahme der positiven Elektroden waren kostspielig und hatten den Nachteil, daß sie zerbrachen, sobald

Fig. 25.

Fig. 26.

Fig. 27.

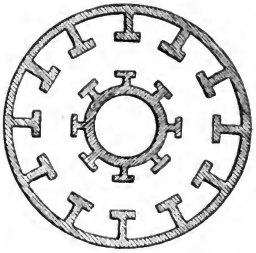


Fig. 28.

die positive Elektrode anfing, sich zu dehnen. Schon bei der Darstellung der ersten Batterien von horizontalen Accumulatoren hatte man als dienlichste Konstruktion, auch zur Ermöglichung großer Kapazität, ein Elektrodengerippe aus gepreßtem Blei entworfen, welches sich dadurch kennzeichnete, daß an seinen Rippenenden ein Fortsatz angeordnet war zum Zwecke, ein Herausfallen des zwischen Rippe und Rahmenwandung eingebrachten Füllmaterials zu verhindern. Fig. 25—28.

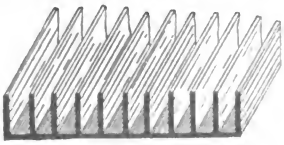


Fig. 29.

Auf diese Konstruktion wurden bereits im Frühjahr 1885 die Patente angefragt, indessen hatte man außerordentliche Schwierigkeiten, eine Bleifabrik zu finden, welche im stande gewesen wäre, die vorgeschriebenen Gerippe liefern zu können. Endlich

Digitized by Google

gelang es, wenigstens ein Gerippe geliefert zu erhalten, wie Fig. 29. Man verwendete dieses Gerippe sofort, um die Hartgummikästchen unnötig zu machen, indem man die positive Elektrode zum Zwecke der Isolierung auf paraffinierte Holzstäbe lagrete.

Die Erfahrung zeigte aber bald, daß diese einseitige Elektrode sich

Fig. 30.

Positiv.

Fig. 31.

Negativ.

Fig. 32.

Fig. 33.

wölbte, durch die Ausdehnung ihrer Füllmasse, und dadurch den Kontakt zwischen Füllmasse und Gerippe bedeutend verminderte.

Nach vielen vergeblichen Versuchen gelang es endlich, in Holland eine kleine Bleifabrik zu finden, welche im stande war, ein Elektrodengerippe aus gepreßtem Blei zu liefern, wie man es bedurfte. Fig. 30—33. Im Dezember 1885 konnte man Accumulatoren von großer Kapaizität bis 600 A.-Std. pro Element mit Hilfe dieser Elektroden herstellen. Fig. 34.

Im Frühjahr 1886 fing die Elektrotechnische Fabrik Cannstatt damit an, die Accumulatoren für Beleuchtung von Eisenbahnwagen, nach ihrem

Fig. 34.

System, zu verwenden, und es zeigte sich in Deutschland außerdem wachsendes Interesse für diese Accumulatoren.

Man hatte unterdessen in Rotterdam für die de Khotinsky'sche Glühlampe eine Fabrik eingerichtet, und da sich der Absatz für diese Glühlampe erfreulich entwickelte und ihre Güte rasch Anerkennung fand, beschloß die Gesellschaft, daß Herr de Khotinsky seine Thätigkeit mehr der Glühlampen-

Digitized by Google

Fabrikation widmen solle, und so übergab er die Fabrikation der Accumulatoren nach seinen Patenten der Firma Gottfr. Hagen in Köln.

Zu dieser Maßnahme bestimmten außerdem die Ersparnisse an Frachten und Eingangszöllen, welche erzielt wurden, wenn in Deutschland fabriziert werden konnte.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß dieser Weg der Fabrikation den Verkaufspreis der Accumulatoren sehr verteuerte. Allein die Gesellschaft zog dies weniger in Betracht, weil sie für den Großbetrieb des Accumulatoren-Geschäftes die Zeit noch nicht gekommen erachtete, und es derselben mehr darum zu thun war, an den gelieferten Batterien Erfahrungen zu sammeln.

Im Jahre 1887 wurde Herrn de Khotinsky zur Ausarbeitung und Ausführung das Projekt für die Errichtung einer Blockstation übergeben, welche Neue Friedrichstr. 37 in Berlin für Rechnung des Präsidenten des Aufsichtsrates, Herrn L. W. Schöffer, ausgeführt werden sollte. Es war die Absicht, in dieser Station die praktische Erfahrung im großen festzustellen für die Glühlampen von hoher Spannung (150 Volt), sowie den Beweis dafür zu liefern, daß jedem Bedürfnis entsprochen werden kann, und die Verteilung elektrischer Energie allen Vorzügen gleich gestellt wird, welche bei den Gasanstalten für die Verteilung von Gas bestehen.

Das Projekt umfaßte 1200 Glühlampen von 150 Volt. 16 Kerzen. Es wurde verlangt, daß im Notfalle die Accumulatoren im stande seien, die 1200 Lampen während 3 Stunden allein mit Strom zu versorgen, und daß die Batterie ihre ganze Kapazität von 1200 Ampèrestunden, bei normalem Betrieb, in 6 Stunden abgeben müsse.

Bis zu jener Zeit hatte man nur Zellen hergestellt, welche ihre volle Kapazität nur während 8 Stunden entladen konnten. Man hätte die gestellte Aufgabe leicht erfüllen können mit diesen Zellen langsamer Ladung und Entladung (Type L), wie es ja jetzt noch von allen anderen Accumulatoren-Fabriken zu geschehen pflegt, allein man legte Wert darauf, die damit unvermeidlich verbundene unnütze Material-Verschwendung zu vermeiden, und suchte dafür eine neue Elektrode für rasche Ladung und Entladung (Type R) auszuarbeiten.

Um dieses Resultat zu erreichen, hatte man nur zurückzugreifen auf die schon früher gemachten Erfahrungen bezüglich der Erweiterung der Kontaktfläche der Elektroden. Nach diesen Grundsätzen fertigte man Gerippe an, wie nachstehende Zeichnungen. Fig. 35 für positive Elektrode und Fig. 36 für negative Elektrode.

In der nämlichen Blockstation verwendete man zum ersten Male als Unterlage der Elektroden Glas anstatt wie früher Holz.

Im Jahre 1887 trat die Konkurrenz der Tudor-Accumulatoren, auf, welche anfänglich zu so billigen Preisen angeboten wurden, daß diese Gesellschaft nicht dagegen konkurrieren konnte. Man widmete sich ganz und gar der Glühlampen-Fabrikation. Der sich rasch ausdehnende Absatz der Glühlampe bestimmte die Gesellschaft, im Sommer 1887 eine große Fabrik für deren Herstellung in Gelnhausen zu errichten.

Den Aufschwung, welchen die elektrische Beleuchtungs-Industrie, insbesondere mit Bezug auf die Herstellung von Central-Stationen für Städte-Beleuchtung in Deutschland genommen hatte, machte das Bedürfnis an Accumulatoren zur brennenden Frage und bekehrte mehr und mehr selbst diejenigen für die Anwendung von Accumulatoren, welche früher deren Gegner gewesen waren.

Unter der Gunst dieser Umwandlung konnten sich die Tudor-Accumulatoren raschen und verbreiteten Eingang verschaffen unter fortgesetzter Erhöhung ihrer Verkaufspreise.

Die veränderten Verhältnisse im Accumulatorengeschäft gaben der Gesellschaft den Anlaß, im Sommer 1890 mit der Errichtung einer eigenen

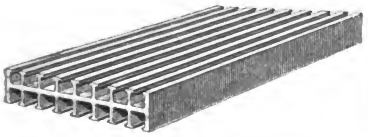
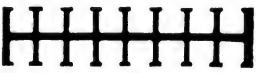


Fig. 35.

Positiv.



Negativ.

Fig. 36

Accumulatoren-Fabrik neben der Glühlampen-Fabrik in Gelnhausen zu beginnen und sich auf Grund aller gemachten Erfahrungen mit ihrem Accumulator nunmehr berechtigt zu erachten, das Geschäft darin als Großbetrieb bei einer eigenen Fabrikation in die Hand zu nehmen.

Infolge dieses Auftrages war man selbstredend verpflichtet, alle Mängel, welche sich aus der Praxis an dem Accumulator ergeben hatten, sorgfältig zu prüfen und darauf bedacht zu sein, dieselben für den Großbetrieb, welcher nunmehr unternommen werden sollte, zu vermeiden.

Die Praxis aus den letzten Jahren hatte gezeigt, daß es ein Fehler war, mehrere Schichten von Elektrodenplatten über einander zu lagern, weil die Gase, welche sich an den unteren Seiten jeder Schichte ansammelten, diese untere Fläche von der Flüssigkeit isolierten und sie dadurch

Digitized by Google

von der aktiven Arbeit ausschloß. Dadurch konnten die Elemente die Kapazität nicht ergeben, wofür sie bestimmt waren, und die Streifen mußten sich werfen. Man bemerkte diese Erscheinung zum erstenmal bei der Formierung einer Batterie in Cannstatt, welche für die Beleuchtung von Eisenbahnwagen für eine italienische Eisenbahn bestimmt war.

Als man von solchen Zellen, welche die kalkulierte Kapazität nicht ergaben, die Elektroden aus dem Kasten nahm, zeigte es sich, daß an der unteren Seite des negativen Streifens an verschiedenen Stellen, besonders aber in der Höhe des Verbindungsstreifens, die Farbe ungleich war und die ganze Elektrode sich nach unten gebogen hatte.

Beim Untersuchen der positiven Elektrode fand man, daß sich der Streifen fast immer nach oben gebogen hatte und nur bei einzelnen Verbiegungen in allen Richtungen vorkamen.

Wo der Bogen am höchsten stand, hatte gar keine Formierung der

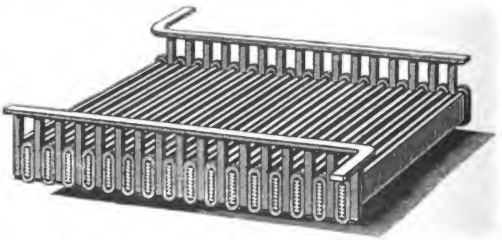


Fig. 37.

Füllmasse stattgefunden, während die Formierung zunahm in dem Verhältnis, als sich der Bogen abschwächte.

Um die Ursache dieser Erscheinung, das Ansammeln von Gasen, möglichst zu vermeiden, durchlöcherte man die Elektroden längs in ihrer Mitte, bemerkte aber bald, daß die Gase nur dann entweichen, wenn die Durchlöcherung sehr groß, bis 8 mm. hergestellt war.

Dieser Umstand bestimmte dazu, die Elektroden auf ihre Schmalseiten zu lagern, wie aus vorstehender Zeichnung ersichtlich ist. Fig. 37.

Die negative Elektrode lötete man fest an die innere Bleibekleidung des Kastens, während man die positive durch paraffinierte Holzstreifen isolierte.

Diese Anwendung fand statt bei der Batterie für Eisenbahnwagen, während man bei stationären Accumulatoren-Batterien das Entweichen der Gase dadurch beförderte, daß man entweder den ganzen Kasten in einem

Digitized by Google

Winkel von 5—8° schief stellte oder die Elektroden selbst im Kasten in einem solchen Winkel schief lagerte.

Ein anderer Mangel, welcher sich herausgestellt hatte, lag in der schwierigen Montierung von mehreren Lagen von Elektroden übereinander, und ferner darin, daß wenn verbrauchte positive Elektroden, welche stets anfingen, sich in den untersten Lagen zuerst zu zeigen, ausgewechselt werden mußten, alsdann zunächst die oberen, noch brauchbaren, aber zerbrechlichen Lagen entfernt werden mußten, bei welcher Operation dieselben vor der Zeit ebenfalls unbrauchbar gemacht wurden.

Dieser Entwickelungsgang der Khotinskischen Konstruktion ist insofern sehr lehrreich, als der Herr offen alle gemachten Fehler klar legt und am Ende seiner Abhandlung doch zu Anordnungen kommt, die er zu Anfang derselben als nicht gut hingestellt hatte.

Die Platte von Henri & Hubert Tudor in Rosport.

Diese beiden Brüder hatten schon seit Jahren eine Platte nach diesem Prinzip konstruiert, die Sache war jedoch in Vergessenheit geraten und wurde erst durch die Herren Müller & Einbeck wieder hervorgeholt und von derselben Firma mit vielem Geschick auf der breitesten Basis in die Praxis eingeführt. Die Anwendung der Accumulatoren in Deutschland erreichte erst mit dem Unternehmen dieser beiden Herren einen gewissen Grad der Vollkommenheit und eine ausgedehnte Anwendung. Die Tudor-Platte ist gewissermaßen eine vervollkommnete Planté-Platte. Fig. 38 und 39 zeigen dieselbe im Querschnitt und in der Ansicht.

Die Tudorplatte besteht aus einem massiven Bleikern mit Rippen zu beiden Seiten, welche zwischen sich nach außen weiter werdende Vertiefungen haben. In der ersten Zeit wurden die positiven Platten etwa 2 Monate lang nach dem Planté-Verfahren formiert, die Rinnen dann mit Bleioxyden ausgefüllt und nochmals einer Formation von circa 4 Wochen unterworfen, so daß die Bleisalze gründlich in Bleisuperoxyde umgewandelt wurden. Die Form der Rinnen gestattet eine hinreichende Ausdehnung der aktiven Masse; sie verhindert jedoch nicht, daß dieselbe gelegentlich herausfällt. Dieser Umstand führt mitunter zu einer baldigen Zerstörung der positiven Platte. Wie so manches im Accumulatoren-Bau- und Betrieb, so ist auch hier noch nicht festgestellt, unter welchen Umständen dieser Übelstand eintritt. Verfasser hat Tudor-Platten jahrelang in Betrieb gesehen, die sich ausgezeichnet gehalten haben. Er hat aber auch wiederum andere Platten gesehen, die in verhältnismäßig kurzer Zeit zerstört wurden, ohne

Digitized by Google

daß man eine Ursache hierfür finden konnte, so daß sie innerhalb weniger Jahre mehrmals gewechselt werden mußten.

Es ist ja unzweifelhaft, daß alle Accumulatorenplatten durch die Thätigkeit des Ladens und Entladens in absehbarer Zeit allmählich zerfallen müssen, und es kann sich in der Praxis nur darum handeln, eine Konstruktion, Zusammensetzung und Anordnung zu finden, welche einer möglichst langen Brauchbarkeit der positiven Platten Gewähr leistet. Man muß der Wahrheit die Ehre geben und offen eingestehen, daß dieses Ziel auch die Tudor-Platte noch nicht erreicht hat. Die Fabrik giebt selbst zu, daß die aktive Masse teilweise auf der äußeren Schicht von den Elektroden abfällt, da man es jedoch nicht in der Hand hat, diesen abfallenden Teil

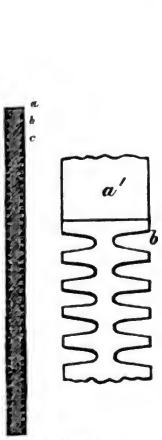


Fig. 38.

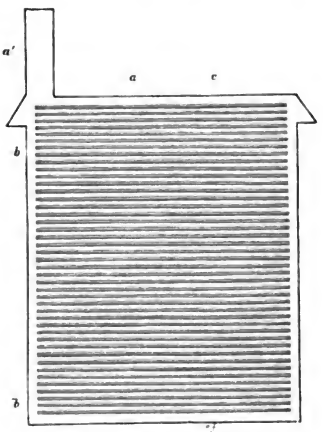


Fig. 39.

genau zu bemessen, so tritt das Abbröckeln der Masse unter Umständen in ungleichem Maße ein. Die Einwirkung des elektrischen Stromes ist dann ungleichmäßig, weil der Widerstand zwischen den Platten an den tieferen Stellen größer wird als an den noch nicht abgebröckelten. Die Platte dehnt sich infolgedessen ungleich aus und ist dann unwiderbringlich dem Verfalle preisgegeben. Möglich, daß hierbei auch die Zusammensetzung der Schwefelsäure und andere vielleicht noch unbekannte Umstände mitwirken. Da, wo die positiven Platten eine gewisse Zeit sich gut bewährt haben; sind sie nach circa einem Jahre als reine Planté-

Digitized by Google

Elektroden anzusehen. Man kann jedoch nicht behaupten, daß sie eine unabsehbare Lebensdauer besitzen, wie dieses von der Fabrik vielfach versichert wird. Sie müssen, wie gesagt, in absehbarer Zeit zu Grunde gehen, denn der fortschreitende Planté-Prozeß bringt es mit sich, daß der Strom immer tiefer und tiefer in den Bleikern eindringt, je mehr Masse an der Oberfläche abgestoßen wird. Es muß also ein Zeitpunkt eintreten, bei welchem der ganze massive Bleikern in Bleisuperoxyd umgewandelt ist. Der-

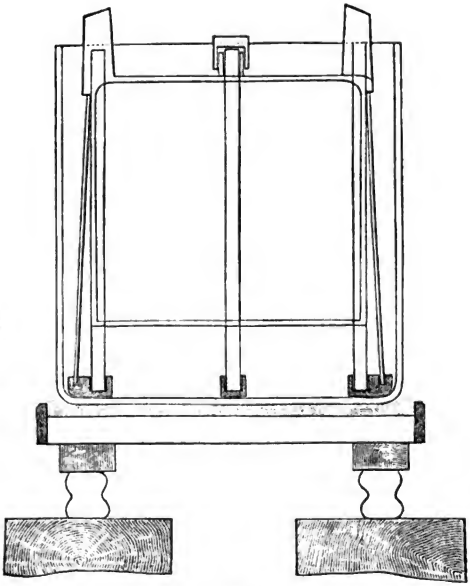


Fig. 39a.

selbe hat dann nicht mehr die genügende Leitungsfähigkeit und Festigkeit und man ist dann gezwungen, die positiven Platten unter allen Umständen zu erneuern. Für die Praxis ist es auch gar nicht nötig, daß die Platten eine absolute Haltbarkeit besitzen, es genügt, wenn sie, sagen wir 10 Jahre dauern, und da die Accumulatoren-Technik fortschreitend noch immer am Verbessern ist, so kann man nicht sagen, daß eine Platte heute schon existiert,

Digitized by Google

welche nach den neuesten Erfahrungen gefertigt, eine 10jährige Dauer hinter sich hätte.

Im Oktober 1887 übernahmen die Herrn Müller & Büsche von den Herrn Henri und Hubert Tudor die Berechtigung, die von diesen Herren konstruierte Accumulatoren-Platte fabrizieren zu dürfen, nachdem die Herren Tudor in Rosport schon zuvor längere Zeit solche Platten hergestellt hatten. Später wurde die Firma in Müller & Einbeck in 1888 ungeändert und aus dieser Fabrik ging dann später in 1891 die Aktiengesellschaft zu Hagen hervor.

Der von dieser Gesellschaft inscenierte Patentstreit, welcher kürzlich vor dem Reichsgericht zu Leipzig entschieden wurde, stützte sich auf das Patent von Faure Nr. 19026, welches die Deutsche Edison-Gesellschaft in Lizenz von der E. P. S. Company zu London erworben hatte. Bereits geraume Zeit, ehe die Firma Müller & Büsche in Hagen i. W. angefangen hatte, Accumulatoren zu bauen, hatte die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin, Rechtsnachfolgerin der Deutschen Edison-Gesellschaft, Accumulatoren zu bauen versucht, aber nur ungünstige Resultate erzielt. Es ist sofort klar ersichtlich, daß, wenn man die Faure'sche Patentschrift in der heute von der Accumulatorenfabrik Aktiengesellschaft gewünschten und behaupteten verallgemeinerten Auffassung gelten läßt, die Firma Müller & Büsche, ebenso wie später Müller & Einbeck gegen dasselbe durch ihre Fabrikation verstoßen hat, und zwar bis zu ihrer Umwändlung in die Aktiengesellschaft. Diese Lizenz ging dann an die Aktiengesellschaft zu Hagen über, welche dann den Versuch machte, aus demselben ein Monopol für ganz Deutschland zu gestalten. Man drohte sämtlichen Accumulatorenfabriken mit Patentprozessen und klagte zunächst gegen Herrn Correns auf Patentverletzung. Diese Klage beantwortete derselbe mit einer Nichtigkeitsklage gegen das Patent Faure, welche jedoch schließlich abgewiesen wurde. Es wurde erkannt, daß das Patent Faure voll zu Recht besteht, das heißt, daß ein Faure-Accumulator mit isolirenden Zwischenwänden herzustellen sei, da hierauf die Patentschrift einen besonderen Wert legt. Aus folgenden Gründen ist somit das Patent wertlos geworden:

Durch diesen Ausspruch des Reichsgerichts ist vor allem eine Monopolisirung der Accumulatoren-Fabrikation ausgeschlossen, und da isolierende oder poröse Scheidewände in jedem Falle den inneren Widerstand der Zellen erhöhen, so ist eine solche Zelle für die Praxis absolut nicht zu brauchen. Hierdurch sind weitere Klagen auf Verletzung des Faure-Patentes ausgeschlossen.

Digitized by Google

Die Platte der Maschinenfabrik Oerlikon.

Die Elektrode für den Oerlikon-Accumulator besteht nach der E. Z. 1891. S. 689 aus sehr leichtem Gitterwerk, in welches die aktive Masse eingedrückt ist. Die gitterförmigen Platten sind in bestimmten Abständen an kräftige Bleileisten gelötet, wie Fig. 40 und 41 erkennen lassen.

Die positiven Elektroden erhalten den Ableitungsstreifen oben (Fig. 40), die negativen den Ableitungsstreifen unten, welcher alsdann in Form eines einzigen kräftigen Bleistreifens in die Höhe führt.

Der Oerlikon-Accumulator unterscheidet sich von den anderen Accumulatoren nun hauptsächlich darin, daß die Flüssigkeit aus gelatinöser Masse

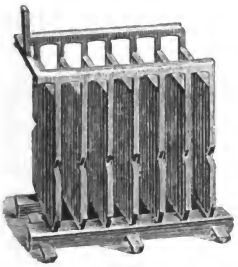


Fig. 40.

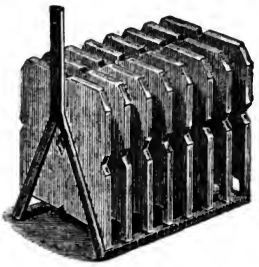


Fig. 41.

besteht, wie solche von Zierfuß und Dr. Schoop angegeben wurde. Von anderen wird folgende Mischung empfohlen:

9 lit. SO_3 von 1,25 sp. Gew.
3 „ Natr. Wasserglas 1,19 sp. Gew.
90 Thl. deutsche Asbestpappe,

welche Mischung in 5 Stunden erstarrt. Es ist jedoch schon vorgekommen, daß diese Masse steinhart und dann unbrauchbar wird.

Diese Anordnung hat den Zweck, einerseits die (entsprechend groß gewählten) Zellen gefüllt und geladen versenden zu können, andererseits zu verhindern, daß etwa sich ablösende Teilchen der Füllmasse einen Kurzschluß zwischen den Elektroden bilden und daß bei einem etwaigen Bruche des Gefäßes die Säure alles überschwemmt, in welchem Falle der Strom sofort aufhört. Die Bewegung der Säure und das Entweichen von Gasblasen wird durch den gelatinösen Elektrolyt jedoch etwas behindert.

Es wird in der „Zeitschrift für Elektrotechnik“ 1889, S. 451, diesem

Digitized by Google

Oerlikon-Accumulator nachgerühmt, daß das Herausfallen der aktiven Masse, was bei den in gewöhnlicher Weise angesetzten Accumulatoren-Batterien selbst bei sehr sachkundiger Behandlung und bei schwacher Belastung kaum später als in drei Jahren geschieht, durch die gelatinöse Erregermasse ganz wesentlich hinausgeschoben werde.

Die Oerlikon-Werke verwenden daher vielfach Batterien mit Flüssigkeit nur für geringe Beanspruchung, während für starke Belastung und große Haltbarkeit die mit Gelatine gefüllten Elemente empfohlen werden.

Eine Einbuße an Kapazität sollen die Gelatine-Zellen, auf das Gewicht bezogen, gegenüber den anderen Zellen nicht aufweisen.

Die Unterhaltung der Gelatine-Zellen ist einfach. Vor Beginn der Ladung hat man u. a. dafür zu sorgen, daß etwas Flüssigkeit oben schwimmt, welche durch Aufgießen von gewöhnlichem Wasser ersetzt wird sofern dieselbe in Folge Verdunstung verloren gegangen ist.

In der „Export-Zeitung für Elektrotechnik" 1891 wird, entgegen der von der „Z. f. E." gegebenen, günstigen Daten darauf hingewiesen, daß, abgesehen von der Erhöhung des inneren Widerstandes und von dem schwierigen Ausgleich in der Dichte der Säure durch die Gelatine, es vorgekommen sein soll, daß die sich entwickelnden Gase kleine Kanäle durch die Gelatine von einer Platte zur anderen gemacht haben. Da sich diese Kanäle leicht mit herausfallender Füllmasse voll setzen können, letztere aber nicht mehr auf den Boden des Gefäßes sinken kann, so ist Kurzschluß möglich, welcher sehr schwierig, wenn überhaupt zu beseitigen ist. Es wird ferner von dritter Seite noch behauptet, daß man im allgemeinen zu der Ueberzeugung gekommen sei, daß der Nutzeffekt des Accumulators mit gelatinösem Elektrolyt wesentlich geringer ist, als bei den mit flüssigem Elektrolyt angesetzten Accumulatoren und nur 40% beträgt.

Die Platte von Schöller & Jahr.

Alle die bisher beschriebenen Platten-Konstruktionen haben sich ohne Ausnahme bei mäßiger Beanspruchung mehr oder minder bewährt, wo es jedoch nötig ist, die Entnahme von Strom aus den Zellen plötzlich zu steigern, kam man zu der Einsicht, daß man der Platte eine bessere Leitungsfähigkeit geben müsse. Dieselbe ist zwar je nach der Anordnung und der Menge des Bleies bei den verschiedenen Konstruktionen bis zu einem gewissen Grade vorhanden, jedoch wird man für manche Zwecke lieber eine Platte wählen, die ein massives Bleigerüst enthält, auf dem zu beiden Seiten die aktive Masse befestigt ist.

Die Fabrikanten haben in Bezug auf die Verteilung der aktiven Masse

Digitized by Google

und des Bleies einen Mittelweg gewählt, indem sie von der Voraussetzung ausgingen, daß Platten, die nur aus Blei bestehen, durch den fortschreitenden Planté-Prozeß zu bald zerstört werden, während Platten, die vorwiegend aktive Masse enthalten, eine noch geringere Haltbarkeit aufweisen. Die größte Capacität würde ein Accumulator haben, der aus ganz dünnen Bleiplatten besteht, die nach dem Planté-Prozeß formiert sind. Die Kapazität wäre im Vergleich zum Gewicht sehr bedeutend, die Haltbarkeit jedoch sehr gering. Wenn man also das Verhältnis zwischen aktiver Masse und Blei sowie die spezielle Anordnung der Masse auf den Bleiplatten so wählt, daß die Thätigkeit des elektrischen Stromes hauptsächlich in der aktiven Masse vor sich geht und dieselbe einen gewissen Vorrat für spätere Jahre aufweist, während das Blei hauptsächlich dazu dient, die aktive

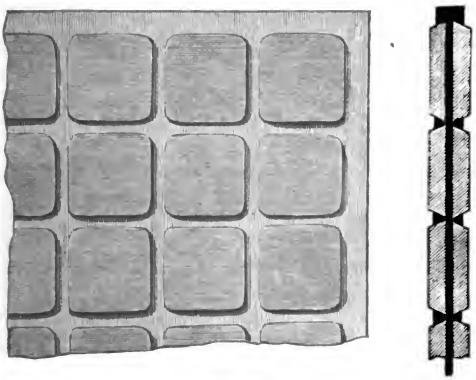


Fig. 42.

Masse festzuhalten und ihr den Strom beim Laden zuzuführen, so wird man eine Platte erhalten, die das denkbar günstigste Verhältnis und die denkbar günstigste Haltbarkeit aufweist. Wie auch aus der Figur 42 hervorgeht, zeigt der Querschnitt eine durchgehende Grundplatte, auf welcher kastenförmige Vertiefungen mit allseitig unterschnittenen Stäben herausspringen. Diese kastenförmigen Vertiefungen halten die aktive Masse äußerst fest, auch steht dieselbe über das Blei 1 mm. hervor. Diese Anordnung gestattet viel aktive Masse anzuordnen und dadurch große Kapazität zu erreichen. Das Verhältnis der aktiven Masse zum metallischen Blei ist etwa 51 zu 49. Das Hervorspringen der aktiven Masse über das Blei

Digitized by Google

hat zur Folge, daß bei den sich gegenüberstehenden Platten die aktive Masse einander näher als das Blei sich befindet, mithin der elektrische Widerstand zwischen der aktiven Masse zweier Platten geringer ist als derjenige zwischen dem Blei. Hierdurch wird erreicht, daß beim Laden der Strom hauptsächlich zwischen der aktiven Masse und nicht zwischen dem Blei übergeht, so daß ein schädliches Oxydieren und allmähliches Verzehren der Bleimasse nur äußerst langsam stattfindet; infolgedessen krümmt sich die Platte nicht. Die Gefahr des Kurzschlusses ist in der einfachsten und vollkommensten Weise beseitigt und zwar in einem Maße, wie es kein bisher bekanntes Accumulator-System aufweisen konnte. Außer diesen konstruktiven Eigentümlichkeiten ist auch die Zusammensetzung und Behandlung des aktiven Materials derartig gewählt, daß eine große Festigkeit erreicht wird, wodurch das Abbröckeln und Herabfallen von Teilen auf ein Minimum beschränkt ist. Auch vergrößert der Überstand des aktiven Materials über das Blei um 1 mm die Oberfläche der Platten um ca. 23 %. Welche Kapazität und welches Gewicht man den Platten geben will, ist bei der Konstruktion derselben in gewissen Grenzen variabel, da man das Verhältnis zwischen Blei und aktiver Masse je nach Bedarf verändern kann.

Eine Zelle von 1050 K. Plattengewicht und 36 □dem. Oberfläche der positiven Platten und einer normalen Stromstärke von 30 Amp. für die Ladung, 25 Amp. für die Entladung ergab folgende Mittelwerte:

	Ladung:	Entladung:
Stromstärke	29 A.	25 A.
Mittlere Spannung	77,88 V.	68,4 V.
„ Werte	130,5	127,5 A.-Std.
	9772	8721 Volt-A.-Std.
„ Dauer	$4^1/_2$	5,1 Stunden.

Nutzeffekt 97,5 % der A.-Std.,
89,3 % der Arbeit.

Die Stromdichte in Amp. pro Quadratdecimeter berechnet sich:
bei der Ladung zu = 0,8
bei der Entladung zu = 0,695.

Die Kapazität in Volt-A.-Std. pro kg Plattengewicht:
für die Entladung zu = ca. 8,44.

Die eigentümliche Aufstellung und Konstruktion der Isolierung der Platten ist an einer anderen Stelle näher beschrieben.

Der elektrische Widerstand der Zellen spielt in der Accumulatoren-Technik in Bezug auf Haltbarkeit und Leistungsfähigkeit eine sehr große

Digitized by Google

Rolle und trotzdem scheint man diesem Umstande ganz allgemein wenig Beachtung zu schenken. Überall, wo von Accumulatoren und deren Nutzeffekt die Rede ist, findet man auch nicht ein Wörtchen über den inneren Widerstand. Nun steht derselbe aber im engsten Zusammenhang mit der Stromstärke und der Spannung, wie dies das Ohm'sche Gesetz auf den ersten Blick erkennen läßt. Nach demselben ist $J = \frac{W}{E}$. Es wird also derjenige Accumulator der beste sein, welcher dauernd den geringsten inneren Widerstand aufweist, und diesem Umstande trägt vor allem die Platte von Schöller & Jahr Rechnung. Daß man so wenig bisher auf den inneren Widerstand Rücksicht genommen hat, läßt sich vielleicht dadurch erklären, daß die Bestimmung desselben gewisse Schwierigkeiten bietet.

Reckenzaun's Accumulator.

Der bekannte Konstrukteur, welcher auf dem Gebiete des Accumulatoren-Baues und des Betriebes von Fahrzeugen mit Accumulatoren seit langen Jahren thätig ist, hat im Jahre 1887 eine neue Platte hergestellt, von welcher Fig. 43 einen Querschnitt und Fig. 44 eine Ansicht giebt. Eine Zeit hindurch hat er sich mit kostspieligen Versuchen befaßt, um die beste Konstruktion von Accumulatoren zu ermitteln. Das Resultat seiner Forschungen und Versuche war zunächst die vorliegende Anordnung. Die aktive Masse wird durch besondere Pressen und Formen in kleine, runde Stangen gepreßt, deren Durchmesser sich zu der Länge etwa wie 1 zu 9 verhält. Eine große Zahl von solchen kleinen, runden Körperchen wird in einer Form unverrückbar fest angeordnet und dann mit Blei umgossen. Hierdurch erreicht man vor allen Dingen eine vollständige, symmetrische Konstruktion. Die aktive Masse ragt auf beiden Seiten der Platte gleich weit hervor und wird von dem Bleirahmen derartig umschlossen, daß ein Herausfallen zur Unmöglichkeit wird.

Die Ausdehnung der aktiven Masse hat meistens die früheren Konstruktionen nach verhältnismäßig kurzer Zeit zerstört und da diese Ausdehnung in keiner Weise verhindert werden kann, so mußte man auf eine Anordnung sinnen, die zwar eine freie Ausdehnung, doch keine Lockerung gestattet. Früher glaubte man durch Anwendung eines Rahmens aus Hartblei oder einer stärkeren Platte die Ausdehnung beschränken zu können. Man kam jedoch bald zu der Erkenntnis, daß dieses unmöglich ist. Die Gestalt und die Anordnung des aktiven Materials in der Reckenzaun'schen Platte ergiebt eine größere Ausdehnung der einzelnen Körperchen in ihrer Längsrichtung, während in der entgegengesetzten Richtung bei dem geringen Durchmesser der Körperchen die Ausdehnung minimal ist. 23 solcher

Digitized by Google

Platten, jede im Gewicht von 770 gr. liefern 140 A.-Std. Die Platten von 186 × 133 mm $3\frac{1}{2}$ mm stark enthalten vier Reihen von aktiver Masse, im ganzen 116 kurze Stäbchen.

Es werden drei Größen hergestellt

I	$5\frac{1}{4} \times 7\frac{1}{4}$" engl.	mit 6 A.-Std.	1/1 d.
II	$6\frac{1}{2} \times 8\frac{1}{2}$"	„ „ 9 A.-Std.	1/3 d.
III	$9\frac{1}{2} \times 10$"	„ „ 20 A.-Std.	2/—.

Die Straßenbahnzelle mit 19 Platten Nr. II giebt 170 A.-Std. und kostet komplet 2 £ 5 sh.

Reckenzaun's neueste Accumulator-Platte, D. R. P. 75085, gehört zu den Bleiplatten ohne besonderes aktives Material. Die Oxydierung der Bleiplatten wird bei diesem neuen Prozeß durch den Lichtbogen bewirkt, welcher wie bekannt die größte Kraft aller Agenzien hat. Was Planté durch den elektrischen Strom in Zeit von drei Monaten erreichte,

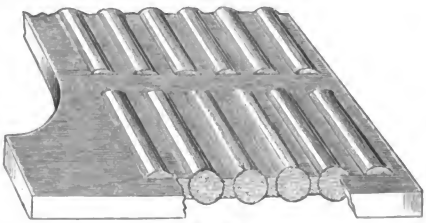


Fig. 43.

wird bei diesem Verfahren in wenigen Minuten erzielt, und zwar äußerst billig und auf automatischem Wege. Das Verfahren ist folgendes:

Ein Blech, Streifen, Band ꝛc. aus Blei oder anderem geeigneten Material wird mit dem einen Pol einer Dynamomaschine oder anderen Elektrizitätsquelle in Verbindung gebracht, deren anderer Pol an einen geeigneten Leiter angeschlossen ist. Zwischen den beiden Polen werden Funken oder Lichtbogen erzeugt. Gleichzeitig wird entweder der Bleikörper ꝛc. unter dem Leiterende, oder letzteres über dem Bleikörper, oder es werden beide gegeneinander beweglich angeordnet, um die Einwirkung des Funkens oder Lichtbogens auf die ganze Platte oder auf nur einen Teil derselben zu ermöglichen. In dem einen Falle wird zur Erzeugung elektrischer Funken der Stromkreis zwischen der zu behandelnden Platte und dem Leiterende mehr oder weniger schnell unterbrochen und geschlossen, während im anderen Falle ein elektrischer Lichtbogen zwischen beiden Körpern erzeugt

Digitized by Google

wird, der aufrecht erhalten bleibt, während der eine oder andere Körper bewegt wird.

Die durch den Lichtbogen erzielte Wirkung ist infolge der höheren Temperatur energischer als bei elektrischen Funken. Die Endwirkung hängt von der Art des Leiters zur Bildung des Funkens oder Lichtbogens, sowie von dem umgebenden Medium ab. Atmosphärische Luft erzeugt gute Resultate. Die Wirkung wird jedoch durch Überschuß von vorhandenem Sauerstoff erhöht.

Es ist nach vorliegender Erfindung nicht nur möglich, ein Oxydieren der Metalle zu bewirken, sondern auch Niederschläge zu erzeugen, die nach dem Material, aus dem die Leiterenden gemacht sind, sowie nach den Eigenschaften von in der Nähe befindlichen und unter dem Einfluß der Funken, bezw. des Lichtbogens stehenden Stoffen verschieden sind.

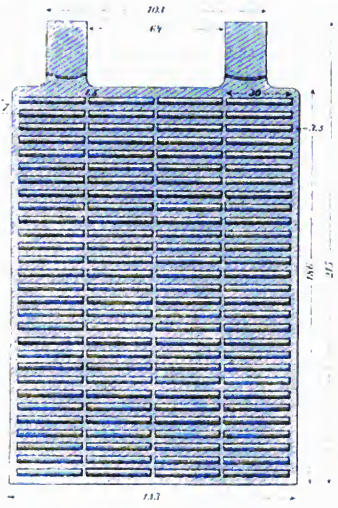


Fig. 44.

Dabei hat sich gezeigt, daß die Fläche einer in atmosphärischer Luft mittels eines Lichtbogens von gleichgerichtetem Strom behandelten Bleiplatte eine poröse oder Schwammform von brauner oder hellgelber Farbe annimmt, je nachdem die Platte den positiven oder negativen Pol bildete; bei Wechselströmen ist im Gegensatz hierzu eine Wirkung auf die Farbe nicht festzustellen.

Epstein's Accumulator.

Herr L. Epstein, zunächst in London, später in Leipzig, hat ähnlich wie Herr Reckenzaun in London seine ganze Thätigkeit seit vielen Jahren ausschließlich dem Bau von Accumulatoren gewidmet. Derselbe kam in den 80er Jahren nach Leipzig und gründete hier mit Herrn Heinrich Röth, dem Vertreter von Schuckert, eine Accumulatoren-Fabrik, die später nach Berlin verlegt wurde. Das ursprüngliche Verfahren in der Herstellung

von Platten war darauf basiert, daß man Blei in einem Tiegel schmolz und unter Zusatz von feinem pulverisiertem Braunstein ein ganz feines metallisches Pulver von grauer Farbe erzielte, welches Metall und Oxyde in feinster Mischung enthielt. Dieses Pulver wurde zunächst in Bleirahmen gepreßt, welche ganz ähnlich denen der E. P. S. Company waren. Das Material gestattete eine Platte von großer Porosität und Festigkeit herzustellen, und zwar auch Platten von ziemlich bedeutender Stärke, die trotzdem so porös waren, daß ein Tropfen Wasser sofort durchsickerte. Hierdurch wurde es möglich die Gitter mit recht großen Öffnungen herzustellen und die aktive Masse im Verhältnis zum Blei bedeutend zu vergrößern. In Berlin erwarb später die Firma Siemens & Halske die Epstein-Patente und fabrizierte unter dessen Leitung längere Zeit selbst Accumulatoren seines Systems. Man ging in der Vergrößerung der aktiven Masse im Verhältnis zum Blei hier noch weiter, indem man schließlich die ganze Platte nur aus aktiver Masse herstellte, die von einem schmalen Bleirahmen umgeben war, welcher lediglich dazu diente, den Strom hinzuzuführen. Es zeigte sich jedoch in der Praxis, daß, so porös und so aufnahmefähig diese Platten auch waren, ihre Haltbarkeit zu wünschen übrig ließ. Schon nach circa einem halben Jahre wurde eine bedeutende Menge der aktiven Masse wahrscheinlich durch die Thätigkeit der Gasentwickelung von den Platten abgespült und lagerte sich als Pulver auf dem Boden der Zellen ab. Die weiteren unablässigen Bemühungen des Herrn Epstein führten dann zu einem entgegengesetzten Typus, nämlich einer massiven Platte ohne Anwendung irgend welchen aktiven Materials.

Im Gegensatz zu vielen sonst bekannten Accumulatoren kommen massive metallische Bleiplatten, ohne irgend welche aktive Masse zur Anwendung. Während die Tudor-Platte ein Gerippe hat mit nach außen sich erweiternden Fugen, wie in Fig. 38, welche mit aktiver Masse ausgefüllt werden, besteht Epstein's Platte aus einem Bleigerippe mit sehr engen, völlig parallelen Rippen, die sich später durch das Formieren fast schließen. Fig. 45, 46, 47 zeigen Querschnitt und Ansicht einer solchen Platte und Zelle in natürlicher Größe. Rippen und Fugen sind je 1 mm. stark, die Länge der Rippen ist $3\frac{1}{2}$—4 mm., die Mittelwand 3 mm. Der Formierungsprozeß dieser Platten wird durch eigentümliche Behandlung in Säurebädern derart abgekürzt, daß er nicht länger dauert als derjenige bei Platten mit aktiver Masse. Hierdurch wird erreicht, daß der Planté-Prozeß, der ja sonst mehrere Monate in Anspruch nimmt, in wenigen Stunden vollendet werden kann. Dies ist nur dadurch möglich, daß die Behandlung zunächst des rein metallischen Bleies in Säure-Bädern Bleioxyd erzeugt, welches man bei den anderen Systemen durch Anbringung

aktiver Masse erzielt. Wie mir Herr Epstein persönlich mitteilte, ist es bei diesem Verfahren möglich, den Platten eine so große Oberfläche und so großes Fassungsvermögen zu geben, daß man für die einzelnen Zellen nur wenige Platten anzuwenden braucht und doch bei gleicher Leistung ein geringeres Gewicht als bei anderen Systemen erhält. Hierzu kommt noch, daß die Platten eine sehr rauhe Behandlung vertragen. Zellen, welche täglich zweimal mit hoher Stromstärke entladen wurden, zeigten nach dreihundert Entladungen weder irgend eine Störung noch eine Abnahme der Kapazität. Es ist hierdurch möglich geworden, bei Verwendung dieser Platten zu Straßenbahnbetrieben die Unterhaltung derselben gegen eine mäßige Vergütung per car-mile zu übernehmen. Die nachstehenden Angaben, welche mir Herr Epstein in gleicher Weise schriftlich und mündlich gemacht hat, werden das Vorgehende noch näher erläutern.

Fig. 45.

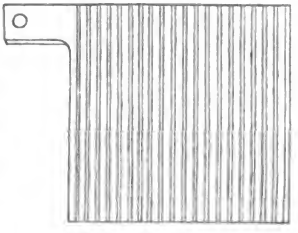


Fig. 46.

Type X 3 für Straßenbahnbetrieb hat einen Kasten von 22 Zoll (0,561 M.) Länge, 11 Zoll Höhe (0,280 M.) und 2 Zoll (0,051 M.) Breite, enthält drei Platten, davon eine positiv, bei einem Gewicht von 45 lbs (20,385 Kg.) per Zelle, Leistung bei 40 A. Entladung 100—120 A.-Std. Eine andere Type für Straßenbahnen ist die T7 Type. Die Zellen sind $8\frac{3}{4}$ Zoll lang, $5\frac{1}{4}$ Zoll breit und 11 Zoll hoch, Gewicht 52 lbs, Leistung bei 40 A. Entladung 120—150 A.-Std. Die Platten sind hoch 20 cm, 19 cm breit und die Stärke der positiven ist 10 mm, die der negativen $8\frac{1}{2}$ mm.

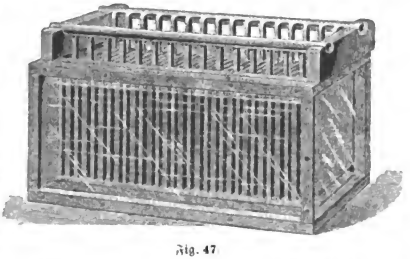


Fig. 47

Die Herstellung der Platten geschieht in der Weise, daß sie aus einem massiven Stück in der in der Figur dargestellten Form gepreßt werden. Der Formations-Prozeß vollzieht sich in einer 1prozentigen wässerigen Lösung von Salpeter-Säure, in welche die Platten bei Siedehitze so lange

Digitized by Google

eingetaucht werden, bis sie ein mattes graues Aussehen zeigen. Diese Platten werden sowohl für die positiven als auch für die negativen Platten gebraucht. Bei dem späteren, elektrischen Formierungsprozeß verwandelt sich die graugelbe Farbe an den positiven Elektroden in ein tief dunkles Braun, womit der Prozeß beendigt ist, was man nicht allein an der Farbe sondern auch an der starken Gas-Entwickelung bemerken kann. Der Sauerstoff des Bleisuperoxydes (welches auf den positiven Platten, die später zu negativen Platten umgeformt werden, durch den Formationsprozeß sich entwickelt) wird durch die Wirkung des elektrischen Stromes ausgeschieden und die Platten zeigen dann an der Oberfläche poröses metallisches Blei. Der Formationsprozeß der negativen Elektroden ist beendet, sobald die tief dunkelbraun oder bläulichschwarze Farbe der vorher positiven Platten in eine blaugraue verwandelt ist. Der so beschriebene, elektrische Formationsprozeß ist in wenig Stunden beendet. Wie es scheint, ist mit diesem Verfahren ein großer Fortschritt erreicht worden, der zunächst darin besteht, daß die Platten ohne große Schwierigkeit billig und schnell erzeugt werden können und dieselben kein loses aktives Material enthalten, welches bei späterem Gebrauch durch mechanische und elektrische Einflüsse abfallen könnte. Es ist unzweifelhaft, daß auch diese Platten, bei denen die aktive Schicht mit dem darüberliegenden Blei aufs innigste fest verbunden ist, doch schließlich in längerer oder kürzerer Zeit zu Grunde gehen. Es fragt sich nur, ob die Technik der Herstellung eine so große Vollkommenheit erreicht hat, daß das Unbrauchbarwerden der positiven Platten nicht zu frühzeitig vor sich geht. Sollte es dem Erfinder gelungen sein, eine Planté-Platte zu konstruieren, welche allen billigen Ansprüchen genügt, so wäre damit ein großer Fortschritt, besonders für den Betrieb von Fahrzeugen gemacht worden. Durch die eigentümliche Gestaltung des Querschnitts ist eine große Oberfläche erzielt, so daß das Gewicht der Zellen trotz der massiven Bleiplatten durchaus in verwendbaren Grenzen sich hält.

Für Beleuchtungs-Zwecke dient die Type R, deren Platten folgende Abmessungen haben: Die positive Platte ist 335 mm hoch, 300 mm breit, 11 mm stark; die negative 335 mm hoch, 300 mm breit, 10 mm stark. Die in dem Preisverzeichnis der Epstein Electric Accumulator Company in London angegebene Kapazität, bei den verschiedenen Stromstärken für die Ladung, ist so kalkuliert, daß immer eine positive Platte mit den dazu gehörigen negativen die in der Liste angegebene Kapazität ausgiebt. Während die neben den Typenmarken befindliche Ziffer die Anzahl der Platten bezeichnet. Also zum Beispiel:

Digitized by Google

Type	Gewicht der Platten	Gewicht der Säure	Maße der Zelle Zoll englisch lang	breit	hoch	Gewicht der Zelle ohne Säure	Ladung Amp.	Entladung Amp.	Kapazität A.-St.
R 3	52 1 lbs	25 1 lbs	15	4	17	1 lbs 60	26	13 20 26 45	130 120 105 90

Der Verfasser hätte gerne noch viele andere Konstruktionen beschrieben, doch ist die Zahl derselben sehr groß. — Herr Edmund Hoppe giebt die Zahl der deutschen Accumulatorenpatente in der neuesten Auflage seines Werkes auf ca. 90 an. Diese alle zu bringen wäre nicht gut möglich und auch wenig nützlich, da ein großer Teil von Patenten doch zu einer Einführung in die Praxis nicht gelangt. Es mögen jedoch noch einige erst kürzlich bekannt gewordene Konstruktionen hier folgen. Der Erfindungsgeist und die Industrie sind unabläßig bemüht, das Bestehende zu vervollkommnen und Neues zu ersinnen, sodaß die Litteratur dem nie rastenden Geiste des Menschen und der Zeit kaum zu folgen vermag.

Die Platte von Georg Eduard Heyl.

Vor einiger Zeit hat Herr Heyl zu Charlottenburg einen neuen Accumulator herausgebracht, der sowohl in Bezug auf das aktive Material als die Befestigung desselben in den Platten besondere Eigentümlichkeiten aufweist. Die positive Masse ist nach dem D. R.-P. Nr. 49 209 aus einer Bleichromverbindung hergestellt und die einzelnen Massepartikelchen nach besonderem Verfahren cementhart, jedoch porös in eigentümlicher Weise gebunden. Es soll hierdurch das Abwaschen der positiven Masse durch längeren Betrieb oder zu starkes Laden vermieden werden. Um die Ausdehnung des aktiven Materials unschädlich zu machen, ist dasselbe ähnlich wie bei der Tudor-Platte in Rinnen angebracht, die jedoch in der Breite der Platte mehrfach durch Zwischenräume unterbrochen sind, so daß der Ausdehnung ein freier Spielraum gelassen ist. Die Fig. 48, 49, 50, 51 geben Ansicht und Querschnitt der Konstruktion. Die Platte gehört zu denjenigen mit massiver Zwischenwand. Da die Rinnen sich nach außen erweitern, so ist Gefahr vorhanden, daß die aktive Masse leicht herausfallen könnte. Um dies zu verhindern, werden die einzelnen Stäbchen aktiven Materials an ihren Enden durch den etwas übergreifenden Bleirahmen festgehalten, so daß die Masse unter normalen Verhältnissen nicht herausfallen kann.

Digitized by Google

Herr Heyl giebt seinen Platten eine eigenartige Aufstellung und Befestigung in der Zelle. Jede Platte hat am obern Ende eine vorstehende Nase und alle Platten sind an dieser Nase auf schrägstehenden senkrechten Glasplatten aufgehängt. Sämtliche Platten werden durch einen Rahmen

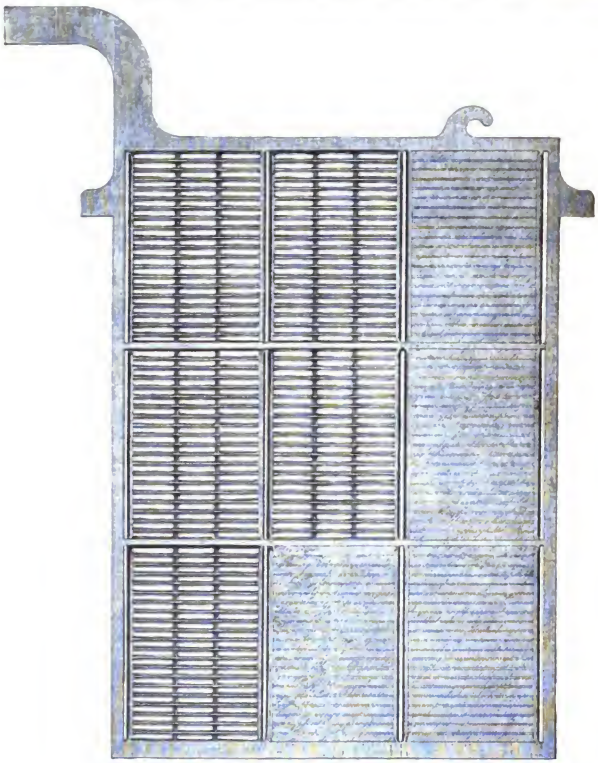


Fig. 48.

aus isolierendem Material zusammengehalten. Eine Oese auf der einen oberen Seite der positiven Platten, durch welche ein isolierender Stab geht, gestattet, dieselbe herauszunehmen, wie dies in Fig. 51 dargestellt ist. Die Konstruktion der Platten und ihre Anordnung in den Zellen dürfte

Digitized by Google

allen Ansprüchen genügen. Über die Zweckmäßigkeit der Anwendung von Bleichromverbindungen liegen Erfahrungen noch nicht vor. Jedenfalls ist die Konstruktion die erste, welche der Ausdehnung des aktiven Materials

Fig. 49.

und der Ausdehnung der Platten in jeder Weise Rechnung trägt. Für transportable Zwecke hat Herr Heyl Zellen konstruiert, welche in einem gemeinsamen Kasten angeordnet sind. Die Kapazität ist 12 A.-Std.

Fig. 50.

pro Kilo Plattengewicht und 10 A.-Std. pro Kilo Zellengewicht für 2- bis 3stündige Entladung. Die Platten sind in Hartgummikasten auf Hartgummikämmen in der Weise montiert, daß die positiven Elektroden

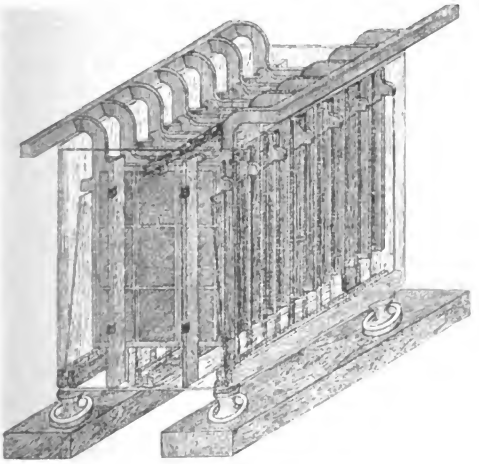


Fig. 51.

bei abgehobenem Deckel jederzeit herausgehoben werden können, ohne die ganze Zelle demontieren zu müssen. Der Hartgummideckel sitzt auf dem mit einem Ansatz versehenen Kasten und wird am Rande mit Isoliermasse dicht vergossen. Die Elektroden ragen durch Öffnungen im Deckel hervor

Digitized by Google

und werden auch durch warmes Eingießen der iſolierenden Maſſe abgedichtet, ſo daß ein Austreten der Säure aus dem Kaſten nicht vorkommen kann. Will man den Deckel abnehmen, ſo ſchneidet man mit einem heißen Meſſer die Iſoliermaſſe ab.

Der Accumulator von Main.

Der Accumulator von Profeſſor W. Main iſt ſowohl in Bezug auf ſeine Anordnung als auch die Konſtruktion der Platten und deren Material völlig verſchieden von allen bisher beſchriebenen. Die poſitiven Platten beſtehen aus einer Anzahl dünner, fein durchlöcherter Bleiplatten, welche beiderſeits von 2 gleichen, jedoch ſtärkeren Platten bedeckt ſind. Dieſe 3 Platten werden durch Bleinieten zuſammengehalten, die aktive Maſſe iſt in Zwiſchenräumen eingebracht, ſo daß ſie nicht herausfallen kann. Als negative Elektrode dienen Kupferplatten, die ſo gebogen ſind, daß ſie die poſitiven Platten völlig umſchließen. Der Accumulator iſt nicht der einzige, welcher verſchiedenartige Elektroden verwendet, es iſt eine ganze Reihe von Konſtruktionen ſchon bekannt geworden, welche Zink, Kohle, Kupfer gebrauchen, und wieder andere, welche Metallſalzlöſungen für den Elektrolyten verwenden. Jedoch haben alle dieſe Konſtruktionen bisher keine weitere Verbreitung gefunden und ſich in der Praxis auch nicht bewährt. Die Kupferplatten des Accumulators von Main ſind durchlöchert und auf elektrolytiſchem Wege mit einem Niederſchlag von Zinkamalgam verſehen. Wie die Fig. 52 erkennen läßt, ſind die poſitiven Platten mit Hartgummiringen verſehen, welche zur Befeſtigung und Iſolierung zwiſchen den Kupferplatten dienen. Das Formieren der poſitiven Platten geſchieht in der bekannten Weiſe wie bei allen anderen. Die Platten haben eine große Oberfläche und bedeutende Aufnahmefähigkeit. Durch die Verwendung von Zinkamalgam auf den negativen Elektroden iſt die Klemmſpannung um etwa 20% erhöht. Ob die Haltbarkeit genügend iſt, kann erſt der weitere Gebrauch lehren. Die Verbindung der

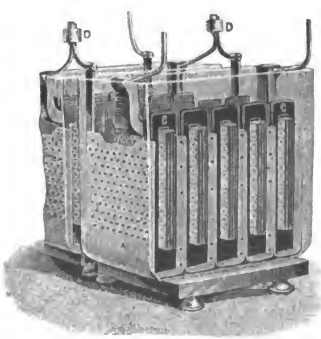


Fig. 52.

Elektroden zwischen den einzelnen Zellen wird durch entsprechend geformte Klötze aus Hartblei hergestellt, in deren Höhlung die hervorragenden Enden der Platten durch einen Keil aus gleichem Metall fest zusammen getrieben werden.

Die Haltbarkeit der Platten muß insofern angezweifelt werden, als zunächst die durchlöcherten Bleiplatten und dann erst die aktive Masse vom Strom angegriffen wird. An anderer Stelle schon wurde hervorgehoben, daß dies besser zu vermeiden sei, um eine frühzeitige Zerstörung der positiven Elektroden so weit als nur irgend möglich zu verhindern.

Crompton & Howell in London fertigen ihre Platten nach dem Planté'schen Verfahren. Das Blei wird geschmolzen, ungefähr auf dem Kristallisationspunkt erhalten und diese halb kristallinische Masse in kleine Blöcke gegossen, die alsdann Bleikristalle mit Zwischenräumen enthalten, die also einen hoch porösen Bleiblock bilden. Aus solchen Blöcken werden die Platten in passender Größe ausgeschnitten und dem Planté'schen Formierungsprozeß unterworfen. Zufolge der Porosität dieser Platten ist das Aufspeicherungsvermögen derselben sehr bedeutend. Das Gefüge der Bleiplatten ist ganz kristallinisch, aber doch derartig porös, daß fast jeder einzelne Kristall von der Elektrolyse durchdrungen wird, so daß man eine sehr große Oberfläche von aktiver Masse erhält. Letztere bildet, da sie ja auf elektrischem Wege erzeugt wurde, an den Bleiplatten einen fest haftenden Überzug, welcher die ganze Platte durchdringt. Herausfallen der aktiven Masse, was bei so vielen anderen Systemen vorkommt, ist hier also ebenso wie bei den Platten von Epstein und den neuesten Platten von Reckenzaun ausgeschlossen. Es ist eben eine Planté-Platte, die alle guten Eigenschaften derselben enthält. Die innige Verbindung der aktiven Masse mit den Blei-Kristallen gewährleistet eine große Dauer der Platten, welche dabei noch einen sehr geringen, inneren Widerstand der Zellen ergeben. Infolgedessen hat eine schnelle und starke Entladung keine nachteiligen Folgen. Bei richtiger Herstellung des Gusses der Platten wird auch selbst bei schlechtester Behandlung ein Krümmen und Werfen nicht eintreten. Die Elektroden werden mit den unteren Enden in entsprechend ausgeschnittene Stäbe von Celluloid gestellt, während oben Klammern aus demselben Stoff die Platten zusammenhalten. Das System ist zufolge seiner guten Eigenschaften in England ziemlich verbreitet.

Charles Brush bildet auf rostförmigen oder auf rahmenförmigen Bleigerüsten, die durch einen chemischen Prozeß blank gemacht werden, einen Niederschlag von schwammigem Blei, indem er das Blei sehr langsam aus einer essigsauren, salpetersauren oder schwefelsauren Bleilösung mit Hilfe einer Zinkplatte niederschlägt. Die auf diese Weise erzeugten

Digitized by Google

Platten können zufolge der schwammigen Beschaffenheit des Bleies leicht und schnell formiert werden, während die negativen Platten eine große Menge Sauerstoff in sich aufzunehmen vermögen. Die Platten sollen viele guten Eigenschaften und große Kapazität haben.

Donato Tommasi und Chartes Cherryc bilden ihre Elektroden aus mit Löchern versehenen Bleiröhren, die am unteren Ende mit einer nicht leitenden Platte geschlossen sind. Mitten in diesem Rohr befindet sich ein starker Bleidraht; der Raum zwischen Rohr und dem zentrischen Bleidraht wird mit aktiver Masse ausgefüllt und zwar bei den positiven Platten mit Bleioxyd, bei den negativen mit Bleiglätte. Isolierende, durchlöcherte Scheidewände verhindern die Berührung der einzelnen Elektroden. Es ist natürlich, daß bei dieser Konstruktion die Menge der aktiven Masse, welche die röhrenförmigen Elektroden aufnehmen können, sehr erheblich ist, so daß das Gewicht der aktiven Masse zum Blei sich etwa wie 2 zu 1 verhält. Aus den früheren schon angegebenen Gründen muß die Dauerhaftigkeit einer solchen Elektrode durchaus bezweifelt werden.

Alle Elektroden, welche auf ihrer äußeren Fläche mehr Blei als aktive Masse aufweisen, setzen naturgemäß das Blei zunächst der Einwirkung des elektrischen Stromes aus und ist dieses also einer frühzeitigen Zerstörung unterworfen.

Kennedy & Groswith verwenden Elektroden aus 2 durchlöcherten Bleiplatten, zwischen denen die aktive Masse festgehalten wird. Die beiden zu einander gehörigen Platten einer Elektrode bilden durch ringsum vorstehende Ränder zwischen sich schmale Kammern, in denen das Füllmaterial zusammengehalten wird. Die Platten einer Zelle werden durch Schraubenbolzen aus isolierendem Material mit zwischenliegenden Isolierstücken zusammen geschraubt.

Ähnlich sind die Platten von Johnson & Holdrege, bez. ihrer Haltbarkeit muß man ihnen denselben Vorwurf machen, wie denjenigen von Tommasi.

Dr. Schoop, von welchem die gelatinöse Füllung des Oerlikon-Accumulators angegeben wurde, fertigt seine Elektroden aus einzelnen Bleikörpern, welche ähnlich beschaffen sind, wie die Heizrippen von Gebr. Körting. Um diese Platten schnell zu formieren, werden sie ohne Anwendung von aktivem Material auf ihrer Oberfläche durch elektrochemischen Prozeß in schwammiges Blei verwandelt und zwar mit Hilfe einer 5prozentigen Quecksilber-Sulfat-Lösung. Das bei diesem Prozeß entstandene Quecksilber-Amalgam wird durch Umkehren des Stromes wieder entfernt.

Clas & Weyde bilden unter hydraulischem Druck mit Löchern ver-

Digitized by Google

sehene Hohl-Cylinder aus aktiver Masse. Diese Cylinder werden in gewelltes Bleiblech hineingepreßt und in den Zellen so aufgestellt, daß bei den positiven Elektroden die Cylinder senkrecht, bei den negativen wagerecht zu liegen kommen. Der Stabilität halber besteht der erste und letzte Cylinder einer jeden Platte aus festem Material.

Die Société Anonyme pour le travail électrique des métaux in Paris bildet Pastillen aus geschmolzenem Chlorblei, die alsdann mit antimonhaltigem Blei umgossen werden. Das Chlorblei wird im glühenden Zustande in entsprechende Formen gegossen. Hierauf werden die Pastillen in konzentrierter Salzsäure-Lösung abgewaschen, um das Oxychlorür, das sich beim Schmelzen in der Luft gebildet hat, zu beseitigen. Diese so entstandenen reinen Chlorbleistücke werden auf elektrochemischem Wege in schwammiges Blei und diejenigen für die positiven Platten durch Trocknen bei 300° C. zu schwammiger Bleiglätte umgewandelt.

James konstruiert die positiven Platten aus Blei mit Zusatz von 1% Kalium und die negativen mit 2% Antimon. Die Platten enthalten zahlreiche Löcher, welche mit einem Brei aus Mennige, Bleiglätte, Asbest und Kohlenpulver gefüllt werden. James hat gleichfalls Gitter aus Alumium versucht, jedoch wohl ohne besonderen Erfolg.

Hering fertigt Platten vollständig aus aktiver Masse ohne irgend welchen Bleirahmen. Die Masse besteht aus fein verteilten Bleioxyden, die mit essigsaurem Blei als Bindemittel angerührt werden. Durch Beimengen eines anderen Bleisalzes, das sich durch elektrolytische Wirkung zusammenzieht, werden die Platten äußerst porös gemacht. Zahlreiche Löcher vermehren die Oberfläche. Die positiven und negativen Platten werden unter Zwischenlegen durchlöcherter, dünner Blätter aus isolierendem Material von einander getrennt, horizontal übereinander geschichtet und durch isolierende Bolzen zusammengeschraubt. Zu beiden Seiten befinden sich die den Strom zuführenden Elektrodenstreifen. Eine große Ähnlichkeit mit dieser Anordnung zeigt der Atlas-Accumulator, beide Konstruktionen haben jedenfalls ziemlich hohen, inneren Widerstand und sind Kurzschlüssen leicht unterworfen.

Das System Pollak gehört zu den Sekundär-Elementen nach Planté, indem sowohl die negativen als die positiven Platten vor der Formation aus einer gewalzten Bleiplatte in besonderer Form mit einem elektrolytischen Überzug von porösem metallischen Blei hergestellt werden. Je nach der verlangten Leistung und Verwendungsweise kann die Gestalt des Trägers, an welchen die Zu- bezw. Ableitungen befestigt sind und die Dicke der aufgetragenen porösen Schicht verändert werden. Für stationäre

Digitized by Google

Zellen werden besonders die gewalzten Bleiplatten als Träger gebraucht, welche nach dem D. R.-P. Nr. 49636 geschützt sind und eine möglichst große leitende Oberfläche für den Durchgang des Stromes von und zu der aktiven Masse darbieten. Im fertigen Zustande haben diese Platten Ähnlichkeit mit einer Bürste mit kurzen Borsten, welche aus regelmäßig verteilten Zäpfchen von quadratischem Querschnitt bestehen (1. Figur 52a). Die Herstellung dieser Platten geschieht in der Weise, daß man Bleistreifen durch ein Walzwerk mit entsprechend geformten Walzen gehen läßt.

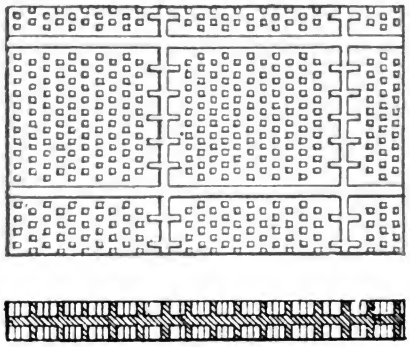
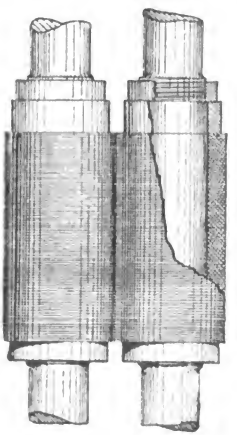


Fig. 52a.



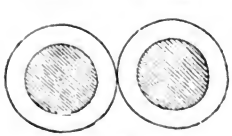


Fig. 52b

Auf einer glatten Walze sind Ringe aus Stahlblech aufgezogen (Fig. 52b), in welche Zähne von genau bestimmter Zahl und Größe eingefräst sind (Fig. 52c). Je 2 solcher Walzen stellen zusammen ein Streckwerk dar; die durch dieses Streckwerk erzeugten metallischen Grundplatten werden durch Elektrolyse mit schwammigem Blei überzogen und die positiven durch eine 100stündige Formation an der Oberfläche in Peroxyd verwandelt.

Die aktive Masse, also das Blei in poröser Form oder als Superoxyd haftet so fest, daß eine bestimmte Grenze zwischen der aktiven Schicht und der Bleiplatte sich nicht mehr erkennen läßt. Die Art der Aufhängung und die Isolierung der Platten richtet sich nach dem jeweiligen Zweck derselben.

Für stationären Betrieb sind die Platten gewöhnlich in der Weise in der Zelle montiert, daß jede Platte auf zwei Glasröhren vermittelst zweier seitlicher Bleilappen aufgehängt ist. Die beiden Lappen einer Platte liegen auf verschiedenen Seiten, so daß die Glasröhren zugleich die Isolierungen zwischen den Platten bilden, außerdem können noch weitere Röhren zur Isolirung gestellt werden. Die Platten einer Zelle sind in bekannter Weise zu beiden Seiten durch Holzteile zusammengehalten. Die Glasröhren stehen unten auf dem Boden der Zellen in kleinen Rinnen aus Bleiblech, damit sie nicht zur Seite ausweichen können, oben werden

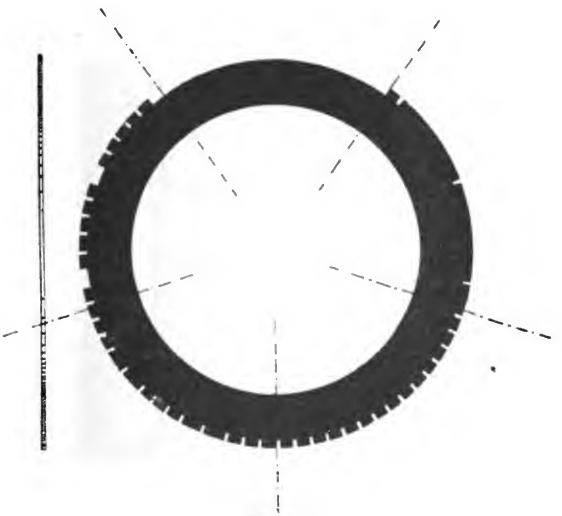


Fig. 52c.

die Isolierröhren durch schmale Bleistreifen gehalten, die an den Platten festgelötet und in die Glasrohre hineingebogen sind. Diese ebenso einfache als auch billige Art und Weise des Aufbaues der Platten bildet den Gegenstand eines Patentes. Das Anlöthen der Lappen und Streifen für die Glasröhren, wie der Fahnen und Leisten, geschieht nach einem besonderen, vereinfachten Verfahren.

Es mag hier noch einer anderen Montierung der Platten gedacht werden, wie sie neuerdings von der Aktiengesellschaft zu Hagen angewendet wird: Die negativen Platten haben auf jeder Seite unten lange,

Digitized by Google

schmale Füße, welche auf einer gemeinsamen bleiernen Querleiste festgelöthet sind. Die positiven Platten sind aber durch einen Bleistreifen verbunden, welcher, durch lange Hartgummireiter auf den negativen Elektroden auch die Last der positiven tragen, und die Hartgummireiter nicht allein als Träger, sondern auch als Isolatoren der positiven Platten dienen. —

So vielfältig die Konstruktion der Platten ist, ebenso mannigfach ist

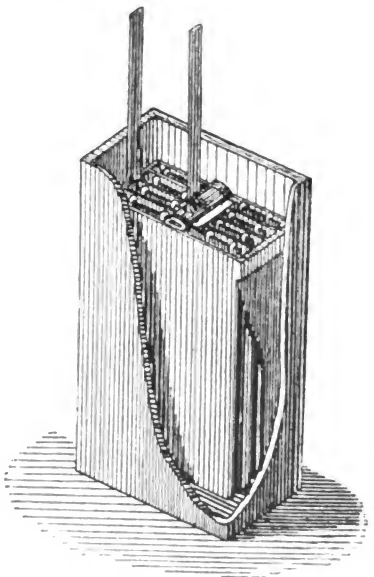


Fig. 52 d.

man bemüht die Isolierung derselben untereinander zu vervollkommnen und ihren Aufbau in den Zellen zu verbessern.

Die innige Verbindung der stromführenden Grundplatten mit der aktiven Schicht hat eine hohe Konstanz der gelieferten Spannung während der Entladung in weiten Grenzen zur Folge. Nachstehende Tabelle giebt die Spannungsveränderungen bei 5stündiger Ladung und 4stündiger Entladung mit konstanter Stromstärke an.

Digitized by Google

Ladung		Entladung	
Zeit	Klemmenspannung	Zeit	Klemmenspannung
8h 30	2,22	1h 40	2,17
45	2,20	45	2,02
9 —	2,18	2 10	2,01
15	2,17	25	2,01
9 30	2,18	40	2,00
45	2,18	55	2,00
10 —	2,18	3 10	2,00
15	2,18	25	2,00
30	2,19	40	2,00
45	2,19	55	2,00
11 —	2,20	4 10	1,99
15	2,21	25	1,98
30	2,21	40	1,97
45	2,22	55	1,96
12 —	2,22	5 10	1,92
15	2,22	25	1,92
30	2,22	40	1,86
45	2,23		
1 —	2,24		
15	2,31		
30	2,37		

Der elektrische Nutzeffekt dieser Entladung beträgt 95,2% in A.-Std. und 85,0% in Watt-Std. Das System wird von der Firma Frankfurter Accumulatorenwerke C. Pollak & Co. zu Frankfurt a/M. fabrikmäßig hergestellt. Eine Batterie von 1200 A.-Std. dient z. B. zur Beleuchtung des Häuserblocks Zeil-Holzgraben in Frankfurt a/M. Die Zellen werden je nach Zweck und Entladezeit von 4—14 A.-Std. per 1 Kg. Plattengewicht gebaut, das Gewicht der Verbindungen mit eingerechnet. Fig. 52d zeigt die Anordnung einer Zelle dieses Systems.

III. Die Konstruktion der Zellen.

Wie allgemein bekannt und auch in diesem Buche mehrfach erwähnt ist, bestanden die ersten Accumulatorzellen ähnlich, wie unsere galvanischen Batterien aus runden Gläsern, in die man zu Spiralen aufgerollte Platten oder cylinderförmige Elektroden hineinstellte. Das erstere Verfahren wurde von Faure eingeschlagen, das letztere von Metzger.

Digitized by Google

Letzterer gab seinen Cylindern sogar einen Boden und isolierte die beiden in einander stehenden Bleigefäße dadurch, daß er in den Boden (Fig. 53) des äußeren einen Glasuntersatz stellte und die beiden Cylinderwände voneinander durch Holzstäbchen trennte. Später ging man dazu über, plattenförmige Elektroden anzuwenden, und war somit genötigt, die zahlreichen Platten durch irgend ein Isoliermittel voneinander zu trennen. Die E. P. S. Company wendete hierzu zunächst Gummiringe an, welche zu 2 oder 3 Stück je nach der Größe der Platten über dieselbe übergestreift wurden.

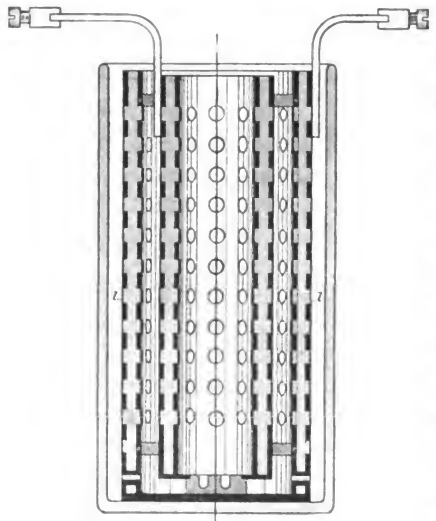


Fig. 53a.

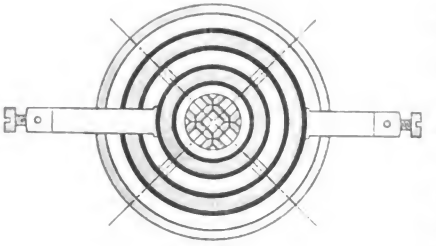


Fig. 53b.

Alle Platten einer Zelle vereinigte man durch stärkere Gummiringe zu einem Körper. Für transportable Zwecke stieß man auch aus den Gitterplatten an mehrfachen Stellen die Masse heraus und setzte in die so entstehenden Öffnungen Gummipfropfen ein, welche beiderseits hervorstanden. Damit die Platten auf dem Boden des Gefäßes nicht aufstehen, setzte man sie auf 3kantige Stäbe. Diese Art der Isolierung der Platten war nicht allein kostspielig, sondern auch in vieler Beziehung unvollkommen.

Digitized by Google

Die Gummiringe platzten, wurden brüchig, verschoben sich und bei dem damals noch oft eintretenden Krümmen der Platten schützten sie nicht vor Kurzschlüssen. Man mußte also darauf sinnen, ein besseres Mittel zu finden. Für feststehende Batterien wendet man heute ganz allgemein dünne Glasröhren an, deren man 2—4 Stück derartig zwischen 2 Platten stellt, daß sie mit deren oberem, etwas gebogenem Rande auf den Platten festhängen. Damit die Platten sich seitwärts nicht voneinander entfernen können, zwängte man sie zwischen den Wänden der Zellen durch imprägnierte Holzstäbe fest und erreichte so eine sehr solide und billige Isolierung der Platten. Allmählich suchte man auch durch die Konstruktion der Unterlagen unter den Platten (auf dem Boden) zu ver-

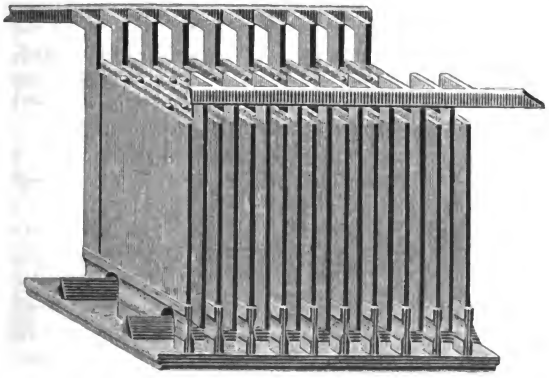


Fig. 54.

hindern, daß irgend welche abfallenden Teilchen sich auf denselben festsetzen könnten und man verwendete hierzu vielfach scharfe kantige Prismen aus Glas oder Hartgummi. Die Zellen von Schöller & Jahr weisen auch hier einen bedeutenden Fortschritt auf (siehe D. R.-P. Nr. 59966, Fig. 54).

Auf einer gemeinsamen Grundplatte sind je nach der Größe der Platte, zwei oder drei Prismen von Glas, Hartgummi oder ähnlichem isolierenden Material angeordnet, welche durch kleine Brücken in der Weise überspannt werden, daß zwischen Prisma und dem unteren Teil der Brücken ein freier Raum verbleibt. Die Elektrodenplatten sind derart auf diese Unterlagen gestellt, daß die kürzeren positiven Platten auf den Brücken, die längeren

Digitized by Google

negativen auf den Prismen stehen. Es ist hierdurch jede Möglichkeit eines Kurzschlusses vollständig vermieden und kann sogar selbst im Falle eines, bei diesen Platten nicht zu erwartenden, Ablösens von aktiver Masse nicht entstehen, weil der mögliche Aufschüttungskegel auf der Oberkante der Glasprismen nie die Unterkante der Brücke erreichen wird.

Der Aufbau der Platten durch Nasen auf Glasplatten wurde schon S. 67 Fig. 51 beschrieben. Diese Anordnung bewährt sich so lange, als nicht etwa durch zu starke Ausdehnung der positiven Platten die Glasplatten auseinander gedrängt werden, so daß dann die negativen Platten herabfallen.

De Khotinsky verwendete für seine flachen, horizontalen Elektroden eine Isolierung aus Hartgummi, so daß zwischen den Elektroden kurz hervorstehende Wände gebildet waren. Bei der späteren Anordnung der Elektroden, die aus schmalen, horizontalen Streifen besteht, isoliert er die einzelnen Elektroden durch Gummireifen und stellt die Platten auf Glasprismen, welche von kleinen Bleirahmen gehalten werden, damit diese Bleirahmen und Prismen sich nicht verschieben können, sind wieder noch in der Querrichtung Glasstreifen eingeschoben.

Das Material der Zellen richtet sich hauptsächlich nach der Größe und Schwere der Platten. Für kleinere und mittlere Zellen nimmt man bei stabilen Batterien ganz allgemein viereckige Glaszellen, für große Batterien dagegen Kästen aus sehr festem Thon, aus Hartblei mit besonders verstärktem Rande, als auch aus imprägniertem Holz mit einer Auskleidung von Blei.

Für Taschen-Accumulatoren ist man naturgemäß auf kleine leichte Zellen aus Hartgummi angewiesen und zwar ordnet man 1—3 Zellen in einem gemeinschaftlichen Kästchen an. Die Platten in den Taschen-Accumulatoren werden gewöhnlich durch Hartgummi- oder Glaseinlagen festgehalten. Auf die Platten legt man oben kleine Hartgummischeiben und vergießt das Ganze mit einer Mischung von Harz und Wachs. Die Elektroden läßt man hervorragen und für das Nachfüllen der Säure und das Entweichen der Gase pflegt man noch 1—2 Hartgummiröhrchen einzugießen, die man durch einen Gummischlauch verschließen kann. Die Taschen-Accumulatoren-Technik hat bis jetzt noch keinen besonderen Fortschritt gemacht, da sie meistens sich in Händen von Leuten befindet, die entweder ohne die nötige wissenschaftliche Grundlage oder gar auch ohne irgend welche Meßinstrumente arbeiten, und es ist natürlich, daß diese Produkte dann, die sich ja fast ausschließlich noch dazu in Händen von Laien befinden, keine besondere Haltbarkeit aufweisen. Dieselben Vorsichtsmaßregeln, welche man für die Isolierung und Befestigung von großen

Digitized by Google

Platten als nötig befunden hat, sollte man auch bei den kleinen Platten erst recht berücksichtigen und alles vermeiden, was geeignet sein könnte, Kurzschluß oder Selbstentladung zu ermöglichen.

Für Telegraphen-Betrieb, für Mediziner oder sonstige kleinere Zwecke hat Herr Correns eine besondere Konstruktion hergestellt. Drei Platten, eine positive und zwei negative (s. Kapitel VII d), sind in einen starken Porzellandeckel eingekittet, welcher oben einen Rand hat, so daß beim Einlegen des Deckels in die Glaszelle die Platten frei hängen, ohne den Boden zu berühren. Die beiden negativen Platten sind außerdem noch zur besonderen Festigkeit an beiden Seiten durch einen angelöteten Bügel aus Blei verbunden. Diese Konstruktion ermöglicht leicht, die Zellen zu öffnen, die Platten und Zellen ev. zu reinigen. Der Deckel verhindert das Verdunsten und Sprühen beim Laden.

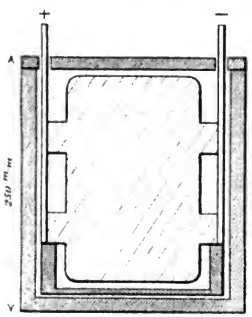


Fig. 55.

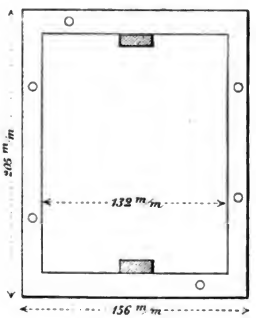


Fig. 56.

Die transportablen Zellen für Betrieb von Fahrzeugen, für Beleuchtung von Eisenbahnzügen und sonstigen Fuhrwerken machen besondere Vorkehrungen für Befestigung und Isolierung der Zellen notwendig.

Für Straßenbahnbetrieb hat Herr Reckenzaun die in den Fig. 55, 56 abgebildete Anordnung getroffen. In einem Kasten aus Mahagoniholz, der mit Blei ausgeschlagen ist, sind auf dem Boden zwei Leisten befestigt, auf welchen die vorstehenden Enden der Platten sitzen.

Auf diese Weise werden die Platten in einer gewissen Höhe vom Boden der Zellen erhalten, so daß etwa abfallende Teile keinen Kurzschluß erzeugen können. Die Elektroden ragen durch 2 Löcher über den Deckel hervor. Der letztere ist mit einem Gummistreifen gedichtet und mit sechs Schrauben aufgeschraubt. Alle Ritzen und Fugen werden außerdem noch

Digitized by Google

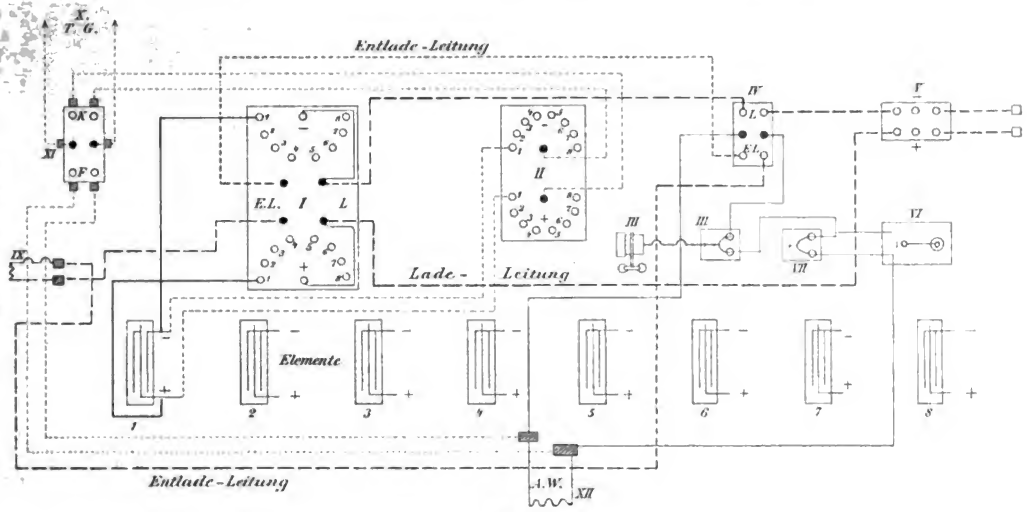

X
T. G.
XI
K
F
Entlade-Leitung
E.L.
I
L
II
IV
V
VI
VII
III
IX
Lade-
Leitung
Elemente
1
2
3
4
5
6
7
8
Entlade-Leitung
A.W.
XII

Fig. 57 a.

mit einer Harzmischung fest verschlossen. Für das Abziehen der Gase ist in der Mitte des Deckels eine kleine Öffnung gelassen, welche beim Fahren durch einen Stöpsel aus porösem spanischen Rohr verschlossen ist, der beim Laden abgenommen werden kann.

Für transportable Batterien, bei denen man 2—4 Zellen zusammen vereinigt, pflegt man dieselben auf ein gemeinsames Grundbrett zu setzen, auf die Zellen einen Deckel zu legen und das obere mit dem unteren Brett, wie in Fig. 57 S. 91 durch Schraubenbolzen zu verbinden. Damit die Zellen beim Transport durch Erschütterungen nicht brechen, ist oben und unten eine Filzzwischenlage angeordnet, zwei Handgriffe zu beiden Seiten erleichtern das Tragen.

IV. Vergleichung einiger Systeme.

Die Vorteile, welche die Volckmar'schen Gitter gegenüber den Faure'schen Bleiplatten gewährten, waren so bedeutend, daß man eine große Anzahl Batterien nach diesem System fertigte. Es zeigten sich jedoch sehr bald auch bedeutende Nachteile des Systems. Sobald die Aktion der elektrochemischen Vorgänge an einzelnen Stellen der Platten stärker als an anderen wurde, krümmte sie sich, und das Gitter zersprang infolge der Ausdehnung der positiven Füllmasse. Die Füllmasse trat über die Oberfläche des Bleies hervor und die einzelnen quadratischen Körperchen spalteten sich in der Mitte und fielen zu beiden Seiten herab. Das Volumen der aktiven Masse wurde hierdurch als auch durch Abfallen kleiner Teilchen vermindert, die Kapazität hierdurch geringer und die Platte verlor allmählich ihre Brauchbarkeit. Spätere Konstrukteure suchten zunächst diesem Übelstande durch Anwendung einer harten Blei-Komposition zu begegnen, doch auch dieses half nichts und die Festigkeit des Metalles vermochte nicht der Ausdehnung der aktiven Masse zu widerstehen. Die Platten blieben zwar bei mäßiger Beanspruchung gerade, sobald sie aber durch irgend welche Umstände zu stark oder ungleich beansprucht waren, krümmten sie sich ärger wie zuvor und das ganze Gitter wurde förmlich zersprengt. Weitere Übelstände zeigten sich auch im Aufbau der Platten innerhalb der Zellen. Die herabfallenden Teilchen blieben auf den isolierenden Gummipfropfen oder sonst wie zwischen den Platten hängen, sie sammelten sich zwischen den auf dem Boden stehenden Platten an, verursachten Kurzschlüsse, Entladung der Zellen und machten sie in kurzer Zeit völlig un-

Digitized by Google

brauchbar. Man verengerte infolgedessen die Maschen des Gitters und gab den Rippen einen anderen Querschnitt, so daß die Masse nicht so leicht herausfallen konnte. Aber auch diese Platte vermochte nicht, sich dauernd zu behaupten. Es wurde dann die Konstruktion von de Khotinsky bekannt, dessen mannigfache Abänderungen wir ausführlich bei Beschreibung seines Systems geschildert haben. Ganz abgesehen von den verschiedenen Mängeln dieses Systems, welche der Erfinder selbst angiebt, sind wohl auch noch einige andere vorhanden, die noch nicht Berücksichtigung gefunden haben. Die horizontale Anordnung der Elektroden ist oft Ursache, daß sich Staub, Schlamm, Oxyde auf deren Oberfläche ablagert, die poröse aktive Masse bedeckt und so Veranlassung zu Verringerung ihrer Thätigkeit giebt. Ein weiterer Übelstand, der bei einer großen Batterie dem Verfasser selbst aufgefallen ist, beruhte auf folgendem Umstand: Da, wo Zellen von großer Kapazität gebraucht werden, ist man genötigt, mehrere Elektrodenschichten ev. übereinander anzuordnen. Die Isolierung derselben macht erhebliche Schwierigkeiten und die erwähnten Übelstände treten dann in noch viel erhöhterem Maße auf. So ist es vorgekommen, daß Zellen, welche in einer Central-Anlage Aufstellung gefunden hatten, und deren Kästen aus Holz bestanden, untereinander Kurzschluß bekamen, da einzelne Zellen gelegentlich undicht wurden, so daß das Holz anfing zu brennen. Die heute in Anwendung stehenden Thongefäße sind zwar diesem Zufalle nicht ausgesetzt, jedoch die große und flache Gestalt erschwert die Aufstellung von Batterien größerer Kapazität, so daß auch dieses System sich vielfach nicht bewährt hat; auch geben die vielen Lötstellen, welche notwendig sind, um die einzelnen Streifen zu Platten zu vereinigen, zu mancherlei Übelständen Veranlassung. Sie bilden unter allen Umständen schwache Punkte, welche zunächst der Zerstörung anheim fallen.

Eine größere Haltbarkeit als die obigen Systeme zeigt die Tudor-Platte mit massivem Bleikern, deren nähere Konstruktion schon zuvor beschrieben ist. Bei dieser Platte ist der Vorrat an aktiver Masse auf der Bleiplatte selbst vorhanden. Sobald also die in die Rinnen eingetragene Masse herausfällt oder allmählich verbraucht ist, wird der Bleikern tiefer und tiefer angefressen, und wenn er stark genug ist, so erreicht die Platte eine größere Dauer, falls nicht zuvor andere Umstände eintreten, die zu einem frühzeitigen Ruin führen. Die Behauptung der Fabrikanten, daß die Platte eine unbegrenzte Dauer hätte, ist als richtig nicht anzunehmen und in der Praxis auch noch nicht bewiesen, da die ältesten Platten dieses Systems so sehr lange noch nicht existieren. Die größte Aussicht für die Zukunft gewährleisten diejenigen Systeme, welche nach keiner Richtung hin ins Extreme verfallen, das Verhältnis

zwischen aktiver Masse und Blei je nach Umständen in der verlangten Leistungsfähigkeit gestalten und das Material sicher miteinander verbinden.

V. Die Herstellung der Platten.

Es kann nicht der Zweck dieses Buches sein, als Lehrbuch für die Fabrikation der Accumulatoren zu dienen und zwar aus mehrfachen Gründen. Zunächst bewahren die Fabrikanten ihre Erfahrungen fast durchgehend als ihr Fabrikationsgeheimnis. Wenn der Verfasser auch selbst Erfahrungen in dieser Spezial-Fabrikation hat und ihm auch mancherlei Erfahrungen durch andere Fabrikanten mitgeteilt worden sind, so wäre es ein vergebliches Bemühen, diese Erfahrungen hier preiszugeben. Es liegt in der Natur der Sache, daß die Herstellung der Accumulatoren nur durch Erfahrung und nicht aus Büchern gelernt werden kann. Nichtsdestoweniger wird es manchen interessieren, im allgemeinen zu wissen, wie der Herstellungsgang der Accumulatoren sich gestaltet. Bei der Beschreibung der einzelnen Plattensysteme ist hierüber auch schon Verschiedenes mitgeteilt worden, und es soll nicht über jedes System hier Näheres erörtert werden, sondern nur kurz und allgemein die Erzeugung der Platten Erwähnung finden. Die Einrichtung der Fabrikationsweise der Platten, ist je nach dem System grundverschieden und haben wir hier drei verschiedene Typen hauptsächlich zu unterscheiden.

1. Gitterplatten, bei welchen zunächst der Bleirahmen hergestellt und dann die aktive Masse hineingepreßt wird.
2. Planté-Platten, welche eine besondere aktive Masse nicht verwenden, sondern dieselbe auf chemischem oder elektrischem Wege auf den Platten selbst erzeugen. Und
3. Platten, welche zunächst die aktive Masse in einzelnen Körpern herstellen und dann mit Blei umgießen.

Der Faure-Accumulator.

Wir kommen jetzt zum schwierigsten und wichtigsten Teil unserer Arbeit. Der Erfolg oder Mißerfolg eines Accumulators hängt von kleinen und scheinbar unwichtigen Einzelheiten der Konstruktion ab. Man könnte sich einen einfacheren Apparat wie z. B. eine Original-Faure-Zelle kaum denken. Sie besteht aus Bleiplatten, deren Oberfläche mit einer dünnen Schicht von rotem Blei überdeckt ist, welche mit einer Zwischenlage von Stoff

Digitized by Google

oder Filz als Isolierschicht zusammengerollt sind. Dies Ding arbeitet für kurze Zeit wunderbar schön und die Erfindung wurde selbst von Autoritäten der Wissenschaft mit Enthusiasmus aufgenommen, als sie zuerst bekannt wurde. Hunderte von Tons dieser rohen Form einer Accumulator-Batterie wurden angefertigt, als sie noch in diesem unfertigen und unerprobten Zustande war. Anstatt nun sorgfältige Versuche mit der Erfindung des Herrn Faure zu machen und sie Schritt für Schritt zu entwickeln, begann man auf einmal diese Zelle in großen Mengen anzufertigen, und nachdem viele Tausende an Geld verschwendet waren und nach monatelangen, fruchtlosen Arbeiten und Versuchen entdeckte man endlich erst die großen Fehler und Mängel dieser Sammelbatterie. Die Nützlichkeit sah man wohl ein, aber ihre Konstruktion war sehr unvollkommen. Es geht oft so, daß man einsieht, daß eine Erfindung äußerst nützlich wäre, wenn sie vollkommen ist, jedoch folgt daraus noch nicht, daß diese Vollkommenheit auch schon erreicht ist. In der That kann man aus der Erfahrung behaupten, daß im allgemeinen der historische Gang der Entwickelung einer Erfindung oft sehr der abnormen und plötzlichen Reife entgegensteht, und daß sehr sorgfältige Behandlung und rührige Thätigkeit notwendig sind, um solche Sachen zu einer gesunden Reife zu bringen, so daß man sie besser in der Abgeschlossenheit des Laboratoriums zunächst und durch ernstes Studium erprobt, als in der erregten und erhitzten Atmosphäre der Börse.

Die Erfahrung lehrt ohne Zweifel, daß alle Anfänge einer Erfindung am besten in kleinem Maßstabe angefangen werden und daß man dann erst zur Fabrikation im großen übergehen solle. Bei der Entwickelung einer neuen Industrie sind oft wissenschaftliche Schwierigkeiten zu überwinden und nicht allein diese, sondern auch technische Schwierigkeiten. Bei wissenschaftlichen Schwierigkeiten, wir meinen solche, wie z. B. die Feststellung der schwachen Punkte, ist der beste Weg der, alles streng zu untersuchen. Das ist im allgemeinen der beste Weg für eine aussichtsvolle Neuerung, die besten theoretischen Wege zu entdecken. Die technischen Schwierigkeiten beginnen mit der Frage des Verkaufs und der Ökonomie. Bei ihnen handelt es sich darum, wie man am billigsten und zufriedenstellend die Angaben der Theorie zur Ausführung bringt, wie man dieses oder jenes Material erlangt. Sie bringen die Organisierung eines Systems in der Herstellung, in der Arbeitsteilung, in den Maschinen und Werkzeugen mit sich, die es uns ermöglichen, unser Werk mit Sparsamkeit und Sicherheit zu vollbringen. Übereilung in den ersten Stadien bringt beide Schwierigkeiten miteinander in Konflikt und bürdet allen Beteiligten eine große Arbeit auf. Alle diese Schwierigkeiten haben die Accumulatoren in allen Stadien durchlaufen müssen und sie hatten zunächst die Hoffnungen ihrer

ersten Erfinder nicht erfüllt. Allerdings waren diese Hoffnungen unzeitig und unverständig.

Die Hauptschwierigkeiten, welche sich zuerst bei der Faure-Batterie einstellten, waren die, daß der Überschuß von rotem Blei an der glatten Oberfläche der Platten nicht haften wollte, es bröckelte an einzelnen Stellen ab; die Scheidewände aus Stoff wurden durch die Säure angegriffen, sie waren auch zu dicht und verhinderten eine gute Cirkulation des Elektrolyten. Die Säure wurde infolgedessen an einzelnen Teilen frühzeitig erschöpft und an anderen konzentriert, auch war im ganzen zu wenig Säure zwischen den Platten vorhanden. Infolgedessen waren einzelne Teile der Platte in größerer Thätigkeit als andere. Das Abfallen der Oxydschicht war jedoch nicht nur eine Folge des Mangels an Adhäsion auf der vorhandenen glatten Fläche, denn Platten mit rauher Oberfläche wurden ohne irgend besseren Erfolg auch versucht. Das Abbröckeln der Masse wurde teilweise dadurch bewirkt, daß die Säure in die Poren des Überzugs und zwischen die aktive Schicht und die Platte drang, so daß hier Sulphat entstand, die Masse abdrängte und dadurch unwirksam machte, weil das Bleisulphat schlecht leitet. Das Hauptübel liegt jedoch in einer ganz anderen Richtung und dies ist, wie mir scheint, niemals erwähnt worden. Es ist nämlich die Ausdehnung der aktiven Masse während der Oxydation und bei der Sulphatbildung. Die kleinsten Teilchen müssen dann sich auf der Oberfläche der metallischen Unterlage bewegen, da diese sich nicht ausdehnt, infolgedessen wird die Adhäsion des Überzuges verringert, denn dieser war ja ursprünglich auf die Platten nur aufgeschmiert und einfach, vor dem Einsetzen derselben in die Säure, getrocknet worden.

Ausdehnung und Krümmen der Platten.

Es ist schon weiter oben erwähnt worden, daß die aktive Masse aus rotem Blei sowohl während der Oxydation als während der Sulphatbildung sich ausdehnt. Es wurde ferner erwähnt, daß diese Vermehrung des Volumens die Hauptursache war, daß die Oxyde von den flachen Bleiplatten abfielen. Diese Ausdehnung der aktiven Masse hat die meisten Schwierigkeiten bei den Blei-Accumulatoren verursacht. Bei den meisten Systemen wird die aktive Masse in Löcher, Vertiefungen, Rinnen und dergl. hineingegeben. Der Prozeß des Wachsens der positiven Platten beginnt und das Krümmen, das Herausfallen der Oxyde und andere Übelstände folgen. Der Vorgang ist ja bekannt, aber es ist sehr schwer, ein Mittel dagegen zu finden. Wir können die Ausdehnung nicht verhindern und die natürlichen Eigenschaften der Oxyde nicht beseitigen, sondern wir

Digitized by Google

müssen dahin streben, Platten herzustellen, die sich unbeschadet der Gestalt der Elektroden ausdehnen können. Das aktive Material wie das leitende Metall muß in der Weise verteilt sein, daß die Ausdehnung mit der ganzen Oberfläche gleichmäßig geschieht, und wo dies nicht der Fall ist, tritt das Werfen und Krümmen und die bekannten zerstörenden Einflüsse ein, die Fabrikanten wie Käufern sehr unangenehm sind. Wenn die Zellen geladen werden, tritt die Oxydation und, wenn sie entladen werden, die Sulphatbildung ein. Bei den durchlöcherten Bleiplatten, dehnt sich die Paste aus und mit ihr das Blei während der Oxydation, und da das Blei in Wirklichkeit keine Elastität besitzt, so würde die Paste bei der Entladung lose werden, wenn dies nicht durch die gleichzeitige Sulphatbildung wieder ausgeglichen würde. Wenn die aktive Masse wieder das ursprüngliche Volumen annehmen würde, dann müßte der Kontakt zwischen ihr und dem metallischen Rahmen verloren gehen, letzterer würde allemal zerstört werden. Die positiven Platten wachsen sehr wenig aber beständig, ihr Volumen wächst auch allmählich und da die aktive Masse nicht zu ihrer ursprünglichen Größe zurückkehrt, so sind gewöhnlich alte und gut behandelte Platten poröser als neue. Aus diesem Grunde haben positive Platten, die lange Zeit in Gebrauch waren, eine größere Kapazität als neue.

Das Volumen der Oxyde im Verhältnis zu ihren Metallen ist durch Chemiker untersucht worden. Man hat gefunden, daß 207 gr. oder 1844 kbcm. Blei mit 16 gr. Sauerstoff PbO geben, und zwar unter einer Volumenvermehrung von 2,6 kbcm. Bei der Oxydation von 112 gr. Eisen Fe_2O_3 beträgt die Volumvermehrung 8,1 oder $3 \times 2{,}7$ kbcm., es beträgt also die Volumvermehrung, wenn sich 16 gr. Sauerstoff mit schweren Metallen verbinden, 2,6 bis 2,7 kbcm.

In der Praxis wird jedoch nur ein Teil der aktiven Masse der Accumulatoren-Platte oxydiert, so daß die obigen Zahlen, welche sich doch nur auf die Volumina der Atome beziehen können, nicht verwendet werden, solange wir nicht wissen, wie viel Moleküle der Einwirkung des Sauerstoffs unterworfen sind. Könnte jedes Atom Blei nutzbar gemacht werden, so würde die Volumvermehrung von Pb zu PbO im ersten Stadium der Oxydation schon $\frac{2,6}{18,14} = 14\%$ sein. Setzt man Pb=1, so ist die Vermehrung auf PbO=1,14 und auf PbO^2=1,28. Es ergab sich, daß eine positive Platte mit einer Oberfläche von $9 \times 10 = 90$ quZoll (580,5 quem.) der anfänglichen Größe, nach einem Jahre täglichen Gebrauchs auf 94,6 quZoll (610,27 quem.) gewachsen war, wobei nur Länge und Breite in Betracht gezogen wurde.

Ältere Platten derselben Art zeigten eine Vermehrung von 90 auf

Digitized by Google

97 qu Zoll (625,65 quem.) von Anfang bis zum Unbrauchbarwerden. Eine positive Platte ist als verbraucht zu betrachten, wenn das Bleigerippe zerbricht, geknickt oder zu sehr ausgedehnt ist. Das metallische Blei wird sehr brüchig mit der Zeit, wenn es der elektrolytischen Wirkung des Sauerstoffs ausgesetzt wird, so daß schließlich ein Augenblick eintritt, wo das Bleigerüst sich mit dem wachsenden Volumen der Paste nicht mehr ausdehnt. Die Stäbe des Gitters brechen und die Brüche erweitern sich, so daß dann die ganze Platte unbrauchbar wird. Man hat versucht, die Platten stabiler zu machen durch starke Rippen in der Diagonale oder in verschiedener anderer Weise, doch ergab sich allemal, daß dies nur das Übel vermehrte. Die Teile des Bleigerüstes, welche durch starke Rippen eingeschlossen waren, gaben gewöhnlich in der anderen Richtung nach, dehnten sich aus und wurden krumm, während die Rippen selbst sich nicht in gleichem Maße ausdehnten.

Man mußte also diese Art und Weise, das Bleigerüst zu verstärken, verlassen, und schließlich gelangte man zu dem Resultat, daß eine Verstärkung der Platten durch irgend welche mechanische Anordnung absolut nutzlos sei. Die aktive Masse muß freien Spielraum haben für die Ausdehnung in jeder Richtung, und dies erreicht man am besten dadurch, daß man das Bleigerüst überall gleich stark macht; je weicher das leitende Material, desto besser für die Platten. Anfang der 80er Jahre versuchte man noch eine Legierung aus Antimon und Blei, die eine festere Platte ergab, doch war das Ergebnis nicht befriedigend und zwar aus folgenden Gründen:

Wenn die Zellen praktisch oder ganz entladen sind und man sie dann stehen läßt, so bildet sich Sulphat. Sie fangen sich dann leicht an zu werfen, selbst bei gut konstruierten Platten. Um diesem zu begegnen, sollte man die Accumulatoren stets gut geladen halten. Ist eine Seite der Platten ein klein wenig mehr thätig als die andere, so dehnt sich natürlich die aktive Masse dieser einen Seite mehr aus. Sie wird convex, und hat das Krümmen erst einmal begonnen, so pflegt es auch sehr leicht weiter zu schreiten, die aktive Masse bricht und fällt heraus, da sie nicht elastisch ist.

Alle möglichen Vorschläge wurden versucht, das Werfen und schädliche Berühren der Nachbar-Platten zu verhindern. Man versuchte hierzu hölzerne Rahmen, Gestelle aus Ebonit, aus Weichgummi und anderen isolierenden Materialien. Man streifte Gummibänder über die Platten und setzte Gummipfropfen in geringen Abständen über die ganze Fläche der Platten, nur um sie gerade zu erhalten. Doch alle diese verschiedenen Isoliermittel können das Werfen und ungleiche Ausdehnen nicht beseitigen.

Digitized by Google

dergl. Unterstützungen bilden nur ein schlechtes Hilfsmittel, sie können die Ursache nicht beheben. Eine rationelle Abhilfe läßt sich nur dadurch erzielen, daß man die Gerüste überall gleich stark macht, die Paste sorgfältig einträgt, so daß sie nicht an irgend einer Stelle dichter ist, wie an der anderen, den Platten dann freien Spielraum giebt, sich nach Bedarf auszudehnen. Doch das sind Einzelheiten der Fabrikation. Was die gute Wartung der Zellen anbetrifft, haben wir schon erwähnt, daß man eine übermäßige Sulphatbildung dadurch verhindert, daß man die Zellen niemals ungeladen stehen läßt, solange sich die Platten in Säure befinden.

Die Einrichtung einer Accumulatoren-Fabrik muß sich natürlich nach den verschiedenen Verfahrungsarten richten, im allgemeinen wird sie jedoch bei allen dieselbe sein.

Die Herstellung der Gitterplatten ist verhältnismäßig die einfachste. Nach einem sauber gearbeiteten Modelle pflegt man das Bleigitter bei den einfacheren Systemen in einer Bronce- oder Stahlform zu gießen, bei den komplizierteren Formen muß die Form aus mehreren Teilen zusammengesetzt sein, wie zum Beispiel bei der Platte von Correns, während die Platte von G. Hagen nur über einen Kern aus Formsand gegossen werden kann. Von den Planté-Platten ist das Verfahren von Epstein und Reckenzaun das einfachste und billigste, während dasjenige der Tudor-Platte verhältnismäßig kostspielig ist, da die Platten zunächst ohne aktive Masse auf elektrischem Wege formiert, dann mit aktiver Masse versehen und abermals formiert werden.

Eine Hauptsache für die Fabrikation sind große Räume zu ebner Erde mit guter Ventilation. Das letztere ist durchaus wichtig, da die Arbeiter sonst leicht an Bleivergiftung leiden, so daß die Polizeibehörden in Bezug hierauf mehrfach sehr strenge Vorschriften erlassen haben. Des weiteren ist eine große und billige Betriebskraft nötig, je nach dem Umfange der Fabrikation sind hierzu 100—300 Pferdestärken erforderlich. Kann man hierzu eine ausgebaute mit Turbinen versehene Wasserkraft verwenden, so sind die Betriebskosten natürlich geringer als bei Anwendung von Dampfkraft. Die vorhandene Kraft gebraucht man hauptsächlich zum Treiben einer Anzahl Dynamos, welche den Strom für das Formieren der Platten und die Beleuchtung der Räume zu erzeugen haben. Das Formieren geschieht am besten in einem Raume, welcher ganz getrennt von allen andern Verrichtungen liegt, der sich am besten in einer freien Halle oder unter dem Dach des Gebäudes befindet, so daß der entstehende Säuredunst leicht abziehen kann, ohne die übrigen Arbeiter zu belästigen.

Das Metall wird in besonderen Schmelzöfen flüssig gemacht ev. mit

Digitized by Google

einem besonderen Rührapparat, der ein Umrühren des Metalls gestattet, ohne daß der Deckel des Schmelztiegels abgehoben wird, umgerührt, abgeschäumt und dann in Formen gegossen. Die fertigen Gitter werden dann an Arbeiter verteilt, welche an langen Tischen das Eintragen der aktiven Masse vornehmen.

Die aktive Masse besteht bei den verschiedenen Systemen aus sehr verschiedenem Stoff. Es wird dazu nur bestes, chemisch reines und gut pulverisiertes Bleisalz verwendet, und zwar rotes oder gelbes Bleioxyd mitunter auch gemischt mit fein verteiltem metallischen Blei. Die fein pulverisierte aktive Masse wird dann entweder mit verdünnter Säure oder mit Wasser zu einem steifen Brei angerührt und in die Gitter gepreßt oder in besonderen Formen zu einzelnen kleinen Stückchen geformt. Mitunter macht man auch noch Zusätze, um die Masse porös und hart zu bekommen. Sind die Platten getrocknet, so können sie nunmehr weiter behandelt werden.

Das Formieren.

Planté nannte sein Verfahren die Bleiplatten zu präparieren „Formieren". Es war ein langsamer und kostspieliger Prozeß. Faure führte eine wichtige Verbesserung ein, indem er die Platten gleich von vornherein auf mechanischem Wege mit einem porösen Metall, einer Paste aus rotem Bleioxyd bedeckte. Er erhielt so schnell ein bedeutendes Aufspeicherungsvermögen, indem er nur das Metall auf den positiven Platten in Peroxyd überführte und zugleich das an den negativen ohne Umkehren des Stromes reduzierte. Es war das schon mehr ein wirkliches Laden der Batterie, wenn man auch dieses erste Laden Formieren nennt, weil die Oxydpaste der negativen Platten zu metallisch schwammigem Blei reduziert werden muß, ehe sie ihre volle Kapazität erreichen kann.

Ursprünglich versah man positive und negative Platten mit rotem Bleioxyd Pb_3O_4, man fand jedoch, daß beim Formierungsprozeß das positive Metall lange vorher schon peroxydiert wurde, ehe die Paste in den negativen zu Bleischwamm reduziert werden konnte. Seitdem wurde anstatt Minium Bleiglätte PbO für die negativen Platten verwendet, und da dieses eine niedrigere Oxydationsstufe einnimmt, so konnte die notwendige Desoxydation mit größerer Ökonomie in Bezug auf Energie und Zeit bewirkt werden. Weitere Versuche jedoch zeigten, daß selbst mit dieser Verteilung von verschiedenem Metall die Formierung in den positiven und negativen Platten nicht zu gleicher Zeit vollendet werden konnte, so daß man schließlich allgemein den Gebrauch einführte, die negativen Platten besonders in speziellen Zellen mit blinden positiven zu formieren. Zu

Digitized by Google

diesen blinden positiven nimmt man eben ganz gewöhnliche Bleiplatten in gleicher Größe.

Die Energie, welcher man bedarf, um Bleiglätte in schwammiges Blei zu verwandeln, ist meistens doppelt so groß wie diejenige, welche zur Peroxydation von rotem Blei notwendig ist. Die Arbeit und Mühe, welche solch ein doppeltes System des Formierens mit sich bringt, ist nicht fortgeworfen, da es in der That für die Präservierung des aktiven Materials in den positiven Platten nötig ist. Diese werden nämlich äußerst brüchig, wenn man sie einer gleichen Behandlung wie die negativen ebensolange aussetzen wollte.

Bei den Platten von Schöller & Jahr wird zunächst die aktive Masse in besondere Formen in kleinen, flachen, quadratischen Stücken hergestellt. Nachdem dieselben getrocknet und genügend fest geworden sind, werden sie in der Mitte mit einem Loch versehen. Durch diese Löcher werden kleine Bleinieten gesteckt, vermittelst welcher sie in der Form zu befestigen sind. Sind die beiden Hälften der Form mit aktiver Masse voll besetzt, so wird sie zusammengeklappt und das Blei dazwischen gegossen. Auf diese Weise ist es möglich, verhältnismäßig billig und schnell Platten zu erzeugen, bei denen die aktive Masse von Blei allseitig umschlossen und festgehalten ist, jedoch über dem Bleirahmen bedeutend hervorsteht. Wollte man erst den Bleirahmen gießen und dann die aktive Masse hineinpressen so würde das ein sehr teurer und komplizierter Guß werden, so daß an eine kommerzielle Benutzung eines so komplizierten Verfahrens nicht zu denken wäre. Das Formieren einer größeren Anzahl von Batterien pflegt man in der Weise zu machen, daß man, wenn möglich auf jede Dynamo eine Batterie schaltet, damit man es leichter in der Hand hat, die Stromstärke für jede Reihe zu bemessen. Ist dies nicht möglich, so muß man durch vorgeschaltete Drahtwiderstände etwaige Differenzen ausgleichen. Der für eine Batterie von mäßiger Größe erforderliche Strom beträgt in der ersten Periode des Formierens nur wenige Ampère. Man setzt dasselbe unter sehr schwacher Gasentwickelung jedoch mehrere Stunden fort, um so die Erzeugung von Bleisuperoxyd ohne zu großen Energieverlust herbeizuführen.

Da die zum Formieren gebrauchte Säure für die Zwecke des Betriebes einer Batterie nicht zu brauchen ist, so pflegt man dieselbe öfter für den Formationsprozeß zu benutzen und durch ein verbleites Pumpwerk nach einem Sammelbassin zu befördern, von dem sie durch Bleiröhren in die verschiedenen Zellen der Batterien verteilt werden kann. Ein wichtiger Bestandteil der Fabrik ist das Laboratorium. In demselben werden nicht nur Fortschritte und Neuerungen ausprobiert, sondern vor

allen Dingen auch die verschiedenen Zellen auf ihre Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit untersucht. Um schnell und übersichtlich die an einer Zelle notwendigen Messungen machen zu können, richtet man am besten einen Tisch her, auf dem die verschiedenen Strom- und Spannungsmesser sowie Umschalter mit ihren Drahtverbindungen befestigt sind, wie dies z. B. in Fig. 57a (S. 88) dargestellt ist. I ist der Hauptumschalter mit Quecksilbernäpfen, zu welchem im Halbkreis angeordnet 8 Leitungen von positiven, und 8 Leitungen von den negativen Polen der Elemente führen. Von den in der Mitte dieses Umschalters befindlichen 4 Näpfen führen die linken Leitungen zur Entladung, die rechten zur Ladung. Der Umschalter II hat auch kreisförmig angeordnete Näpfe mit den gleichen Anschlüssen an die Zelle. Die mittleren führen zu den Anschlußklemmen XI für das Torsionsgalvanometer X. Diese Anordnung ist deshalb so getroffen, um die bei verschiedenen Leitungen verschieden auftretenden Spannungsverluste zu eliminieren. III ist ein Fernausschalter, der vom Nebenzimmer aus in Thätigkeit

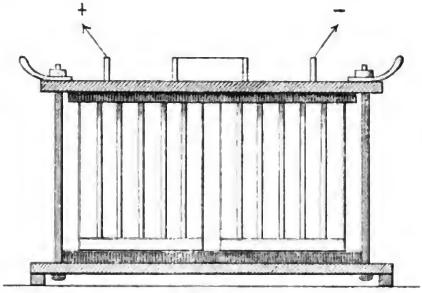


Fig. 57.

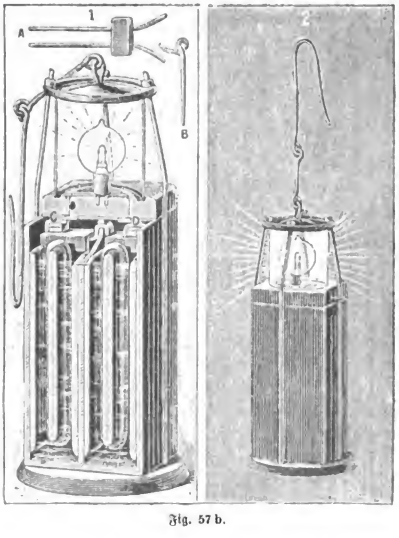


Fig. 57 b.

Digitized by Google

gesetzt wird. IV ein Umschalter, welcher gestattet, den Abzweigungswiderstand XII von dessen Polen Spannungsmeßleitungen nach dem Umschalter XI, führen nach Belieben in die Entladeleitung oder in die Ladeleitung zu schalten. Die Mittelkontakte dieses Umschalters IV gehen nach den Klemmen des Abzweigungswiderstandes XII und zwar der eine durch den Fernausschalter III und den Ausschalter VII, der andere aber, der Ausschalter VII, ist außerdem mit dem Silbervoltameter VI in Verbindung.*)

Die Erzeugungskosten einer Zelle setzen sich zusammen aus: Material für die Platten inkl. Ausschuß und Abfälle, Arbeitslöhne, Feuerung für Kessel, Schmelzöfen und Schmiede, Abnützung der Maschinen, Dynamos und Werkzeuge, Abgaben auf Gebäude und Steuern, kaufmännisches und technisches Personal, Zellen und Säure.

Die Gehälter der Beamten setzen sich zusammen aus: Fabrikdirektor, Vorarbeiter, Buchhalter und Gehilfen, Elektriker, Werkzeugmacher.

Das notwendige Kapital setzt sich zusammen aus: Rollendes Kapital und Vorräte, Patentkonto, Werkzeuge und Maschinen, Provisionen und Nebenausgaben.

Von diesem Kapital muß man 25% auf die Erzeugungskosten der Zellen schlagen, also auf Material und Arbeit. Diese Summe bildet dann den Erzeugungspreis resp. die Selbstkosten.

VI. Der Nutzeffekt.

Bezieht man den Nutzeffekt auf das Kilo Plattengewicht und nicht auf den Quadratdecimeter Oberfläche, so bildet derselbe gewissermaßen einen Gegensatz zur Haltbarkeit und zwar deshalb, je massiver ich die Bleiplatte gestalte, je mehr aktive Masse ich auf derselben anbringe, desto mehr wird die Platte vertragen können, aber um so größer wird auch ihr Gewicht sein und um so größer auch ihre Haltbarkeit, und insofern stehen Haltbarkeit und Nutzeffekt im Widerspruch. Mache ich eine Platte sehr leicht, indem ich wenig Blei und viel aktive Masse nehme, so wird der Nutzeffekt im Verhältnis zu dem Gewicht sehr hoch, die Haltbarkeit aber um so geringer werden, als die Konstruktion wenig widerstandsfähig ist. Eine Platte von hoher Widerstandsfähigkeit läßt sich eben nur dadurch

*) Nach Mitteilung der Firma Schöller & Jahr.

erzeugen, daß man der aktiven Masse eine stabile Basis giebt. Nach den bisherigen Erfahrungen, die wir über Accumulatoren besitzen, ist es nicht denkbar, daß eine dünne Bleiplatte, deren aktive Masse nur durch elektrischen Prozeß auf der Platte selbst erzeugt ist, eine große Haltbarkeit aufweisen kann, da die Schicht von Bleisuperoxyd, sobald sie eine Dicke von $^1/_4$ mm. erreicht hat, zum Abblättern sehr geneigt ist.

Macht man also die Bleiplatte möglichst dünn, so verringert man wohl das Gewicht, vermindert aber auch die Haltbarkeit; man ist infolgedessen gezwungen, für jedes Bedürfnis eine besondere Konstruktion zu wählen, also Platten zur Bewegung oder zur Beleuchtung von Fahrzeugen, die nicht allzuschwer wiegen sollen, kann man zwar mit mäßigem Gewicht herstellen, jedoch nur auf Kosten der Haltbarkeit. (Es ist dies ein ganz ähnliches Verhältnis wie bei den Glühlampen. Eine Glühlampe von großer Ökonomie herzustellen, macht heutzutage durchaus keine Schwierigkeiten, aber die Haltbarkeit nimmt im Verhältnis mit der Ökonomie ab.)

Der Energieverlust

in den Accumulatoren beträgt rund 30%. Er schwankt um diese Größe je nach Umständen 5% nach oben und nach unten. Derselbe setzt sich zusammen nach verschiedenen Faktoren, welche man in ihrer vollständigen Wirkung wohl heute noch nicht ganz erforscht hat. Einer der wesentlichsten Verluste beim Laden entsteht dadurch, daß ein gewisser Teil der vom Ladestrom geleisteten Energie als Gasblase entweicht. Diese Gasentwickelung steigert sich mit der zunehmenden Aufspeicherung und sobald die gesamte, zur Wirkung kommende aktive Masse vollkommen in Superoxyde umgewandelt ist (bei den meisten Platten also nur die obere Schicht, da der Strom in die tieferen Schichten meistens nicht eindringt), erreicht die Gasentwickelung ihr Maximum, d. h. es wird nun kein elektrischer Strom mehr aufgespeichert, sondern der ihr zugeführte gesamte Strom wird lediglich im Gas umgesetzt, welches aus der Zersetzung des Wassers in Sauerstoff resultiert. Ein anderer Teil des Verlustes entsteht dadurch, daß der Übergang des elektrischen Stromes von dem Blei zur aktiven Masse einen gewissen Kraftaufwand fordert. Wie die Untersuchungen, die an einer anderen Stelle des Werkes erwähnt sind, darthun, hat die aktive Masse besonders der positiven Platten einen sehr erheblich größeren Widerstand als das Blei und es gehört mithin eine gewisse Spannung dazu, diesen Widerstand zu überwinden. Je größer nun die Gasentwickelung wird, je geringer wird der Kontakt des Elektrolyten mit den Elektroden und die aufsteigenden Gasblasen wirken gewissermaßen isolierend

Digitized by Google

zwischen den beiden und die Überwindung dieses Widerstandes erfordert auch einen gewissen Energieaufwand. Die Spannung, welche die Accumulatoren-Zellen, nachdem sie geladen sind, haben, beträgt gewöhnlich nicht über 2 Volt; sie sinkt sehr bald auf 1,9 etwa und hält sich auf diesem Niveau eine längere Zeit konstant. Bekanntlich aber braucht man beim Laden mindestens 2,25—2,65 per Zelle. Der Überschuß über 1,9 resp. 2 Volt ist also diejenige Spannung, welche ich brauche, um die in den Platten und im Elektrolyten vorhandenen Widerstände zu überwinden. Es wird also derjenige Accumulator den besten Nutzeffekt geben, welcher neben seinen sonstigen Eigenschaften, die geringste Überspannung per Zelle verlangt. Es ist ja bekannt, daß die Umwandlung der Energie irgend welcher Art in eine andere Form von Energie einen gewissen Verlust mit sich bringt, und man muß eben dahin streben, diesen Verlust auf ein Minimum zu beschränken, ihn ganz zu beseitigen ist einfach unmöglich.

Es ist ferner Thatsache, daß man bei den meisten Accumulatoren bei der Entladung eine viel größere Stromstärke anwenden kann als bei der Ladung, und auch hierin ist ein gewisser Verlust an Energie begründet. Wenn ich eine Zelle 4 Stunden lang mit einer gewissen Stromstärke entlade, so wird die Ladung gewöhnlich 5 Stunden beanspruchen; ich muß also mit einer geringeren Stromstärke länger laden, um die gewünschte Menge aufzuspeichern. Diese Erscheinung hängt offenbar auch mit der Gasentwickelung zusammen. Es entsteht die Gasentwickelung wahrscheinlich beim Laden in tieferen Schichten der Platte event. da, wo der Strom aus dem massiven Blei in die aktive Masse übertritt, denn die letztere wird niemals so fest auf dem Blei sitzen, daß nicht ein wenig Flüssigkeit zwischen Blei und aktiver Masse vorhanden wäre, während umgekehrt beim Entladen die Gasbewegung auf den dünneren Schichten vor sich geht, und da die aktive Masse nicht so porös ist, daß sie der Gasbewegung nicht einen gewissen Widerstand entgegensetzt, so ist es natürlich, daß die Bewegung schneller vor sich gehen kann beim Entladen. Daß trotzdem die Accumulatoren in den meisten Fällen vorteilhaft und ökonomisch arbeiten können, ist in einem späteren Kapitel dargethan. Der Verlust, welchen die Anwendung von Accumulatoren mit sich bringt, besteht also in einem 25—30% größeren Kraftaufwande, als wenn ich den Strom der elektrischen Maschinen direkt verwenden würde. Der Verlust stellt also z. B. bei Dampfbetrieb einen größeren Aufwand an Brennmaterial, an Wasser und sonstigen Betriebsmitteln dar und läßt sich mithin im gegebenen Falle auch in Geld ausdrücken. Man wird es selten so einrichten, daß die Maschine unthätig ruht, während das Maximum an Energie gebraucht wird, und wenn die Lademaschine in Verbindung mit den Accumulatoren

arbeitet, dann dienen die letzteren als Regulator zur Sicherheit, oder ergänzen den von den Maschinen gelieferten Strom. Es geht mithin nur ein Teil des Stromes in die Zellen und der Verlust wird im Verhältnis gering sein. Gegenüber dem Einwurfe der Verschwendung von Energie möchten wir die Thatsache anführen, daß, wenn von einer großen Anzahl Lampen zur Beleuchtung nur wenig gebraucht werden, was ja bei den meisten Anlagen der Fall sein wird, wir die Maschinen nicht zu betreiben brauchen. Die Abnützung wie die Betriebskosten der Bedienung sind in der Praxis dieselben, ob 5 Lampen oder viele Hunderte in Gebrauch sind. Außerdem, wo der Gebrauch an Feuerung den größten Teil der Kosten des elektrischen Lichtes ausmacht, würde man allerdings zu überlegen haben, ob es klug wäre, in diesem Falle den Strom aufzuspeichern; da jedoch die Kosten der Kohlen in großen Anlagen geringer sind und in den mittelgroßen und kleineren Anlagen noch geringer als die Hälfte der ganzen Betriebsausgaben, wird die scheinbar große Verschwendung von 30% der benutzten Kraft klein erscheinen im Vergleich mit der Summe, welche im übrigen das elektrische Licht fordert. Es giebt jedoch zahlreiche Fälle, in denen der Vorteil der Aufspeicherungsbatterien den Übelstand des Energieverlustes vollständig aufwiegt, wo sie nicht nur sehr bequem, sondern durchaus ökonomisch sind, natürlich immer vorausgesetzt, daß der Anschaffungs- und Unterhaltungspreis in vernünftigen Grenzen bleibt, und dies wird sicher der Fall sein, solange der Preis des Bleies nicht enorm steigt und fortdauernd Verbesserungen in der Herstellung von Platten gemacht werden.

Die positiven Platten arbeiten nicht, wie von vielen behauptet wird, wie eine Lunge, sie dehnen sich nicht beim Laden aus, auch zieht sich die aktive Masse beim Entladen nicht wieder zusammen, sondern es findet ein allgemeines Wachsen und Ausdehnen der positiven Platten statt. Als Beweis dafür gilt die Thatsache, daß diese Platten nach jahrelangem Gebrauch an Größe zugenommen haben, während die negativen nicht gewachsen sind. Es findet in den Sekundär-Batterien insofern die Aufspeicherung von Energie ohne Umwandlung statt, als die Energie im gleichen Zustande als elektrischer Strom abgegeben wird, wie sie als Strom auch aufgenommen wird und ihre Thätigkeit hängt gänzlich von der elektrischen Energie ab, welche denselben zuerst mitgeteilt wurde.

Kapazität.

Es scheint, als ob die Menge Sauerstoff und Wasserstoff, welche von den Platten in der Flüssigkeit aufgenommen wird, einen Maßstab für die Energie bildet, welche aufgespeichert werden kann. Die Flüssigkeit der

Digitized by Google

Blei-Accumulatoren ist verdünnte Schwefelsäure. Bringen wir 2 Stücke reines Bleiblech in einem Gefäß mit verdünnter Säure getrennt von einander an und senden einen genügend starken Strom hindurch, um die Flüssigkeit in ihre Bestandteile zu zerlegen, dann beobachten wir, daß die eine der Platten sich gar bald mit einem bräunlichen Überzug bedeckt. Dieses Häutchen ist Bleisuperoxyd, der Sauerstoff hat sich mit derjenigen Platte verbunden, welche mit dem positiven Pole des Ladeapparats in Kontakt war, man nennt daher diese Platte gewöhnlich die positive. Lösen wir nun die Pole der Bleiplatten von denen der Stromquellen und verbinden sie mit einer Leitung, welche Strom absorbieren kann, indem wir zugleich einen Strommesser einschalten, der uns den ausgegebenen Strom anzeigt, so finden wir, daß die erste Entladung sehr schwach und von kurzer Dauer ist, wenn auch die Ladung längere Zeit gedauert hat. Thatsache ist es, daß wir Sauerstoff aufgespeichert haben, während der Wasserstoff entweicht. Die negative Platte ist rein und glatt, sie hat kein Gas gebunden, die Aufspeicherung in derselben muß also durch Einschließen vor sich gegangen sein. Wenn wir nun die Pole dieser Planté-Zellen wechseln und sie wieder laden, so wird die reine Platte oxydiert, während das Oxyd an der anderen allmählich zu porösem metallischen Blei reduziert wird. Die Oberfläche bleibt dadurch nicht länger mehr glatt und kann etwas Wasserstoff aufnehmen und so die Kapazität ein wenig erhöhen. Öfteres Wiederholen dieses Verfahrens ergiebt tieferes Eindringen in die Platten und man erzielt schließlich ein beträchtliches Aufspeicherungsvermögen.

Im Laufe dieser Arbeit ist öfter der Ausdruck aktive Masse anstatt Überoxyd, schwammiges Blei und Oxyd-Paste gebraucht, worunter wir die Teile der Platten verstehen, welche fähig sind, die Gase aufzunehmen, die während des elektrolytischen Prozesses abgegeben werden.

Verhältnis der aktiven Masse zum Aufspeicherungsvermögen.

Der Strom von 1 Amp. macht beim Zersetzen von angesäuertem Wasser 0,000010238 gr. (0,000158 grains) Wasserstoff in einer Sekunde frei und gleichfalls die der chemischen Zusammensetzung des Wassers entsprechende Menge Sauerstoff. Die bei dieser Thätigkeit verwendete Energie um 1 Äquivalent H und 8 Äquivalent O = 9 HO (Wasser) zu zersetzen, ergiebt 0,9456 Kgm. (6,840 Foot Pounds). Hierzu sind 1,5 Volt elektrischen Stromes nötig. Es findet ein ganz bestimmtes Verhältnis statt zwischen Stromstärke, Zeit und der entwickelten Gasmenge, man kann daher die Kapazität eines Accumulators auf elektrischem Wege genau messen. Praktisch drückt man der Bequemlichkeit halber die Kapazität in A.-Std.

Digitized by Google

anstatt in A.-Sekunden oder Coulomb aus. Eine A.-Std. ist gleich 3600 Coulomb. Über die Menge des aktiven Materials, welches für die Aufnahme einer bestimmten Menge Sauerstoff und Wasserstoff nötig ist, findet man kaum Angaben, die man direkt praktisch verwerten könnte. Die chemischen Äquivalente können hierzu nicht gebraucht werden, weil es praktisch fast unmöglich ist, das Material so zu verteilen, daß jedes Atom thätig sein könnte. Gladstone und Tribe haben sehr sorgfältige Untersuchungen angestellt über die bezüglichen 2 Gasmengen, welche frei resp. gebunden werden durch einen gegebenen Strom in gegebener Zeit. Wir finden jedoch in ihren Publikationen keine genaueren Angaben bezüglich des Gewichts oder Volumens des aktiven Bleies. Natürlich ist der freie Zutritt des Elektrolyten vorteilhaft, so daß sehr dünne Platten mit verhältnismäßig großer Oberfläche ein größeres Aufspeicherungsvermögen für eine Menge aktiven Materials ergeben, als dicke Platten, bei denen die Diffusion schwerer vor sich geht. Aus mechanischen Gründen sind wir genötigt, Platten von einiger Dicke anzuwenden und mit Hilfe von Beispielen nach bekannten Formen kommen wir zu praktischen Schlüssen und erhalten ein Maximum der nutzbaren Wirkung. Zur Erläuterung dieser Frage mögen die folgenden Zahlen dienen, welche Herr Reckenzaun aus erschöpfenden Versuchen hergeleitet hat, die mit Accumulatoren der verschiedensten Typen der E. P. S. Company gemacht wurden.*)

Gewicht und Maße beziehen sich nur auf die aktive Masse, auf die Metallrahmen (das Blei) ist keine Rücksicht genommen.

Zellen für Fahrzeuge:

Fassungsvermögen 150 A.-Std.
Gewicht des Peroxydes der positiven Platten = 2,749 kg (6,07 lbs).
Gewicht des Bleischwamms der negativen Platten = 2,459 kg (5,43 lbs).
Gesamtgewicht der aktiven Masse 5,2095 kg (11,50 lbs).

Es ist also die Kapazität per Pfund (0,453 kg) aktiven Materials 13 A.-Std.

Die Zelle hat 23 Platten, 11 positive und 12 negative. Die ungerade Anzahl Platten nimmt man, um für alle positiven Platten 2 negative Oberflächen gegenüber zu haben. In jeder Platte sind 560 quadratische kleine Löcher mit aktivem Material ausgefüllt. Die freie Oberfläche beider Seiten zusammen, welche mit dem Elektrolyten in Berührung stehen, beträgt 340 qcm (53,7 □ Zoll). Die Dicke der positiven Platten ist 3 mm

*) Siehe Anthony Reckenzaun, Practical notes on the management of Accumulators, Electrical Review, London 1886/88.

Digitized by Google

($^1/_8$ Zoll) und die der negativen 25 mm ($^3/_{32}$ Zoll). Das Volumen des Peroxydes der positiven Platten ist daher 605,16 kbcm (36,9 kb-Zoll), während das des Bleischwamms in den negativen 495,77 kbcm (30,23 kb Zoll) beträgt. Wenn wir dieses Material auf 2 flachen Bleiplatten ausbreiten, und zwar den Bleischwamm in einer Stärke von 1,2 mm ($^3/_{64}$ Zoll) und das Peroxyd in 6,4 mm ($^1/_{16}$ Zoll), so bedeckt dasselbe ca. 0,40 qm (4,4 □ Fuß). Diese beiden Platten mit ihren belegten Seiten gegeneinander in ein Gefäß mit Säure gebracht, würden einen Faure-Accumulator darstellen. Da jedoch das aktive Material nicht vollkommen an den Metallplatten haftet und infolgedessen ein schlechter Kontakt stattfindet, so wird hierdurch das Fassungsvermögen vermindert. Hieraus erklärt sich auch, warum Faure mehr als das Doppelte an Pasten für eine gegebene Kapazität gebrauchte, was man später für Gitterplatten notwendig hatte. Wir haben jedoch hier nur mit den allgemeinen Prinzipien bezüglich des Aufspeicherungsvermögens zu thun und können uns nicht auf die verschiedenen Arten der Konstruktionen von Platten einlassen.

Zellen für stationäre Zwecke.

Fassungsvermögen = 330 A.-Std.

Gewicht des Bleioxyds d. positiven Platten	=	6,80 kg (15,00 lbs).
Gewicht des Bleischwamms d. negativen l.	=	5,10 kg (11,25 lbs).
Totalgewicht des aktiven Materials	=	11,90 kg (26,25 lbs).

Kapazität per Pfund (0,453 kg) 12,6 A.-Std.

Die Zellen haben 15 Platten, 8 negative und 7 positive. In jeder Platte befinden sich 728 kleine quadratische Öffnungen, welche eine Oberfläche von 844,95 qcm (131 □ Zoll) bieten. Die positiven Platten sind ca. 5 mm ($^3/_{16}$ Zoll) und die aktive 3 mm ($^1/_8$ Zoll) stark. Das Volumen des Peroxydes beträgt 1490,85 kbcm (91 kb-Zoll) und das des Bleischwamms 1023,75 kbcm (62,5 kb-Zoll). Die freie der Säure dargebotene Oberfläche der positiven Platten ist 0,586 qm (6,37 □ Fuß). Die Platten für stabile Batterien sind sehr viel dicker, die Metallrahmen dementsprechend auch viel kräftiger, alles zusammen viel schwerer und dauerhafter als dies für Platten bei Fahrzeugen der Fall ist. Es scheint, daß infolge der größeren Tiefe das aktiven Materials ein kleinerer Prozentsatz desselben nutzbar ist. Wir sind daher berechtigt zu sagen, daß die Kapazität des Accumulators nicht allein vom Volumen des Materials abhängt, sondern auch von der Art der Verteilung desselben. Bestimmte Regeln können hier nicht gegeben werden, sondern wir müssen die besten Verhältnisse für die verschiedenen Typen der Platten durch Versuche bestimmen.

Digitized by Google

Elektromotorische Kraft.

Die Spannung, welche der freie Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt, beträgt nur 1,5 Volt, die normale Spannung eines Blei- und Bleiperoxyd-Elements ist jedoch 2 Volt, während die Anfangsspannung einer frisch geladenen Zelle beinahe 2,25 Volt ist, die jedoch beim Entladen gar bald herabgeht. Diese Erscheinung wird vermutlich durch die Anwesenheit von Ozon bewirkt, der als Sauerstoff von größerer Energie das dritte Atom Sauerstoff in einem Moleküle zeigt.

Gladstone und Tribe nehmen an, daß die normale Spannung von 2 Volt durch die Anordnung von Blei, dessen Peroxyd mit verdünnter Schwefelsäure herrührt. Daß man im ersten Moment 2,25 Volt erhält, erklären sie damit, daß in den Platten Wasserstoff resp. Sauerstoff eingeschlossen ist, der entweder heraus diffundiert oder schnell zerstört wird. Später werden wir sehen, daß die Spannung mit dem Verhältnis der Ladung beträchtlich wechselt. Ist der Widerstand des äußeren Schließungskreises zu dem inneren Widerstand des Accumulators verhältnismäßig groß, dann ist die Spannung desselben sehr konstant, jedoch nicht ganz vollständig, weil der innere Widerstand sich allmählich während der Entladung erhöht, da das spezifische Gewicht der Säure fällt; ein Umstand, den wir gelegentlich der Sulfatbildung betrachten werden. Obgleich wir während der Entladung normal nur 2 Volt erhalten, so muß die Spannung fürs Laden stets mehr als 2,25 Volt betragen, da die Gegenspannung jeder Zelle, wenn sie in der Höhe ihrer Thätigkeit ist, eben 2,25 Volt beträgt.

Schon an einer andern Stelle haben wir über diesen Umstand gesprochen. Es ist nicht allein die Gegenspannung, welche eine höhere Ladespannung bedingt, sondern auch der innere Widerstand spielt hier eine wichtige Rolle. Derselbe ist bei voller Ladung gering, am größten bei Beginn des Ladungsprozesses. Diese beiden Einflüsse wirken einander teilweise entgegen.

Verhältnis zwischen Ladung und Entladung.

1. Es hängt ab von der freien Oberfläche der Platten,
2. „ „ „ „ „ Dicke der Platten,
3. „ „ „ vom gewünschten Nutzeffekt,
4. „ „ „ von der Spannung.

Ist ein hoher Nutzeffekt erwünscht, dann muß die Ladung im mäßigen Verhältnis bewirkt werden, so daß die Gase, welche bei der Zersetzung entstehen, ebenso schnell, als sie frei werden, auch von den Platten aufgenommen werden können. Die Praxis ergiebt, daß ein ökonomisches Lade-

Digitized by Google

verhältnis für die dünnen Platten ungefähr 4,5 Amp. per 0,092 qm, bei den dicken Platten per □ Fuß (0,092 qm) 4 Amp. der freien Oberfläche der positiven Platten ist.

Beim Laden hilft der metallische Rahmen bei der Wasserzersetzung mit, es ist daher Gebrauch, die ganze Oberfläche der Platte zu nehmen, wenn man das Ladeverhältnis angiebt. Die thätige, freie Oberfläche der positiven Platten in der Fahrzeug-Type ist 5,8 □ Fuß (0,53 qm) und die der stationären Type 9,3 □ Fuß (0,85 qm). Die bezüglichen Stromstärken, welche man gebrauchen soll, sind daher für die ersteren 3 Amp., für die letzteren 2,5 Amp. per □ Fuß (0,092 qm). Die nötige Spannung für diese normalen Verhältnisse beträgt ungefähr 2,4 Volt per Zelle. Ladet man mit einem größeren Verhältnis, so kann man den Prozeß in kürzerer Zeit vollenden. Jedoch nur, indem man an Nutzeffekt verliert und zwar deshalb, weil wir eine höhere Spannung anwenden müssen, um den stärkeren Strom hindurchzusenden. Die Gase werden zu schnell entwickelt, so daß ein größerer Prozentsatz entweicht und in Blasen an die Oberfläche der Säure steigt. Während wir so 2,5 Volt und mehr per Zelle beim Laden aufwenden, können wir beim Entladen unter keinen Umständen auf mehr als 2 Volt rechnen.

Einfluß des Entladeverhältnisses auf die nutzbare Kapazität und Spannung.

Messungen an Zellen für Fahrzeuge mit konstantem Widerstand im äußeren Schließungskreise ergaben: ungefähre Stromstärke 45,76 Amp., gebrauchte Zeit 3 Stunden, nutzbare Kapazität $45{,}76 \times 3 = 137{,}28$ A.-Std.

Um 1 Uhr fiel die Stromstärke plötzlich auf 25A mp., um 1 Uhr 15 auf 17 Amp., so daß damit die Zellen praktisch erschöpft waren.

Tabelle. I.

Zeit	Entladung Amp.	Spannung Volt	Zeit	Entladung Amp.	Spannung Volt
9,54	55,64	2,14	11,15	45,58	1,96
10	46,65	2,04	11,30	44,94	1,90
10,15	46,01	2	12	44,51	1,90
10,30	46,01	2	12,15	44,51	1,90
10,45	46,01	2	12,30	42,8	1,87
11	45,8	1,99	12,45	40,66	1,87

Digitized by Google

Tabelle II.

Zeit	Entladung Amp.	Spannung Volt	Zeit	Entladung Amp.	Spannung Volt
9,0	23,97	2,14	1	22,35	2
9,30	22,56	2,04	1,30	22,09	2
10	22,56	2,04	2	22,09	2
10,30	22,56	2,04	2,30	22,09	2
11	22,56	2,04	3	22,09	1,99
11,30	22,56	2,04	3,30	22,09	1,96
12	22,56	2,04	4	20,7	1,9
12,30	22,56	2,04			

Durchschnittliche Stromstärke 22,34 Amp., gebrauchte Zeit 78 Stunden, nutzbare Kapazität 156,3 A.-Std.

Die Ladung und Entladung wurde mit einer Reihe von 6 Zellen ausgeführt, in der Tabelle II sind jedoch nur die Ergebnisse von einer Zelle enthalten. Diese Zelle wurde in jedem Falle bis zu ihrer vollen Kapazität geladen. Tabelle I zeigt eine nutzbare Kapazität von nur 137,28 A.-Sd. Tabelle 2 dagegen, von 156,38 A.-Std. Bei dem hohen Entladungsverhältnis fällt die Stromstärke stets und ist thatsächlich nicht länger als $^3/_4$ Stunde während des ganzen Versuchs konstant. Die Spannung sinkt gleichfalls mit dem Strom, wenn auch nicht in gleichem Maße. Dies zeigt uns an, daß die Batterie mit zu hohem Verhältnis entladen wurde. die Verbindung mit den Gasen konnte nicht genügend schnell stattfinden und ein Teil der Energie mußte geopfert werden. Trotzdem giebt es zahlreiche Umstände, wo solche Änderungen noch sehr gering sind, wo jedoch ein hohes Entladungsverhältnis sehr erwünscht ist, wie dies zum Beispiel der Fall ist beim Betriebe elektrischer Wagen und Boote. In Tabelle II ist die Entladung praktisch konstant.

Wir finden ferner, daß die Anfangsspannung in Tabelle I und II 2,14 Volt ist; wenn dies auch nur wenige Minuten dauert, so muß man es bei der durchschnittlichen Spannung doch berücksichtigen. Die Stromstärke dagegen fällt in Tabelle I plötzlich von 55,64 auf 46,65. Dies kommt nur teilweise infolge des Sinkens der Spannung, hauptsächlich aber durch das als äußeren Widerstand gebrauchte Eisenband, das in kurzer Zeit nur heiß wurde. Wie der Widerstand mit der Temperatur stieg, so sank die Stromstärke. Diese Änderung ist in Tabelle II nicht so hervorgetreten, wo der Strom von 23,97 auf 22,56 in der ersten halben Stunde fällt. Es wurde derselbe Querschnitt des Eisenbands in diesem Falle gebraucht, jedoch von beinahe dem doppelten Widerstande als bei dem ersten Versuch und daher rührt auch nur die halbe Stromstärke.

Digitized by Google

Will man das Sinken der Stromstärke und Spannung ermitteln während des Versuchs, so muß man nicht die erste, sondern die zweite Ablesung als die höchste nehmen, weil der Ursprungseffekt von wenig Wert und geringer Dauer ist. Berücksichtigt man die erste und letzte Ablesung, so finden wir, daß das Fallen der Spannung in Tabelle I 0,17 Volt oder 8,33% beträgt. Das Fallen des Stromes ist 5,99 Amp. oder 12,83%. In Tabelle II sind die Differenzen geringer als natürliche Folge des kleineren Entladungsverhältnisses, da ist das Fallen der Spannung nur 6,86% und das des Stromes 8,15% zwischen zweiter und letzter Ablesung. Bei einer durchschnittlichen Entladung von 45,76 Amp. fällt der Strom in $2^3/_4$ Stunden 12,83%, während der äußere Widerstand praktisch beinahe konstant ist. Bei Entladung desselben Accumulators im durchschnittlichen Verhältnis von 22,34 Amp. fällt der Strom nur 8,14% in $6^3/_4$ Stunden. Das stimmt mit der wohlbekannten Thatsache überein, daß eine Sekundärbatterie in einem vergleichsweise niedrigen Verhältnis entladen werden muß, wenn Stromstärke und Spannung konstant erhalten werden sollen ohne Änderung des äußeren Widerstandes oder Änderung der Anzahl von Zellen im Stromkreise. Praktisch wird man finden, daß das ökonomischste Entladungsverhältnis dasjenige ist, welches einen gegebenen Accumulator in 10 Stunden entladet. Dies gilt für stationäre Zellen, für transportable können wir dieses Verhältnis bedeutend erhöhen, ohne an Nutzeffekt zu verlieren.

Energie.

Die von einer Aufspeicherungsbatterie abgegebene Energie ist das Produkt von Stromstärke und Spannung, die Größe, in welcher Energie abgegeben wird, drückt man in Volt-Amp. oder Watt aus.

In Tabelle I finden wir, daß die um 10 Uhr vormittags gebrauchte Energie 95 Watt beträgt, während sie um 12 Uhr 45 nachmittags auf 76 Watt fällt. Das durchschnittliche Verhältnis jedoch ist: 45,76 Amp. $\times$ 1,964 Volt = 89,87 Watt und das sind 0,12047 elektrisch H. P. oder 3975,51 Foot Pounds (548,620 kgm). Die totale von diesem Accumulator abgegebene Energie war in 3 Std. also $3975{,}51 \times 60 = 715591{,}8$ F. P. (34348,468 kgm). Es wird daher eine Zelle von 137,28 A.-Std. nutzbare Kapazität 0,12047 H. P. während dreier Stunden ausgeben, wenn sie bei der obigen mittleren Stromstärke und Spannung arbeitet. In Tabelle II giebt dieselbe Zelle 44,68 Watt oder 0,06 H. P. auf 7 Std., was 831,6 F. P. (114,760 kgm) repräsentiert oder gegen die Tabelle I mehr 116,008 F. P. (76,00 kgm). Dieser Gewinn zeigt den Vorteil eines

Digitized by Google

niedrigen Entladungsverhältnisses. Der Energieverlust durch zu schnelle Entladung erreicht 14%.

Verhältnis zwischen gespeicherter Energie und aktivem Material.

Der nutzbare Betrag der Energie ist von größerer Wichtigkeit als die Kapazität einer Batterie; der erstere drückt die verrichtete Arbeit aus, während die zweite nur Strom und Zeit angiebt. Wir haben bereits gesehen, daß die nutzbare Energie eines Accumulators wechselt mit dem Arbeitsverhältnis, es muß daher auch das Verhältnis zwischen Energie und Materialmenge je nach Umständen sich ändern.

Schon zuvor haben wir ermittelt, daß das Totalgewicht an Peroxyd und Bleischwamm in der Zelle für Fahrzeuge 11,5 lbs (5,20 kg) ist. Wir haben auch berechnet, daß, wenn man diese Zelle mit 45,76 Amp. entladet, eine Totalenergie von 715591,8 F. P. (34348,468 kgm) ausgegeben wird. Es giebt daher in diesem Falle jedes F. P. aktiven Materials $\frac{715591,8}{115} = 62,225$ F. P. (8,587 kgm), während bei einer Entladung mit 22,34 Amp. der Gewinn 831,600 F. P. (114,76 kgm) oder 72313 F. P. (9979,19 kgm) per Pfund aktiver Substanz war. Das ist per Minute und Pfund des Materials 2,19 H. P.

Unterbrochene Entladung.

Wenn wir den Prozeß der Entladung unterbrechen und die Platte ein wenig ruhen lassen, dann erhalten wir bei erneutem Stromschluß Spannung und Stromstärke ein wenig höher, als wir kurz vor der Unterbrechung beobachteten. Bei diesen unterbrochenen Entladungen ist es möglich, vollkommen zulässige reguläre Resultate, selbst bei sehr hohem Entladungsverhältnis zu erhalten. Die Gase haben Zeit, sich zu verbinden, während die Flüssigkeit leichter in die Poren der Platten eindringt. Ein Accumulator ist gleichsam ein Pferd. Giebt man demselben seine reguläre leichte Arbeit, dann wird es mit konstanter Kraft täglich lange laufen, giebt man ihm zu große Last, dann wird es allmählich an Geschwindigkeit verlieren, bis es ganz zum Stehen kommt. Gestattet man ihm gelegentlich, etwas zu verschnaufen, dann wird es mit der großen Last in regelmäßigen Zwischenräumen weitergehen.

Ziehen wir Zeit und Energie in Betracht, dann finden wir, daß beständige leichte Arbeit mehr Nutzeffekt ergiebt, als starke Erschöpfung mit Ruhe dazwischen. Es giebt zahlreiche Fälle, wo eine kleine Sekundärbatterie bei hohem Arbeitsverhältnis weit ökonomischer ist, als ein größerer

Digitized by Google

Apparat, der unter normalen Verhältnissen mehr Nutzeffekt ergiebt, der höhere Nutzeffekt ist also nicht immer ökonomisch. Der Nutzeffekt in A.-Std. z. B. nach Tabelle I war nur 79%, während der in Tabelle II 90% ist. In dem einen Falle ist die Energie in kurzen Zeiträumen von 3 Stunden entwichen, im anderen in 7 Stunden, das Verhältnis der ausgegebenen Energie ist in Tabelle II zweimal so groß, für dasselbe Gewicht als in Tabelle I.

Der innere Widerstand.

Er ist eine veränderliche Größe, er ist am geringsten, wenn die Zelle voll geladen, und am größten, wenn sie entladen ist, er verändert sich mit dem spezifischen Gewicht der Säure.

Während der Entladung wird Sulfat auf den Bleiplatten gebildet, während der Ladung wird es wieder aufgelöst, folglich ändert sich der Säuregehalt fortwährend. Hierdurch ist es möglich, den Stand der Ladung oder Entladung nach dem spezif. Gewicht der Säure zu beurteilen oder annähernd zu messen. Die Ergebnisse von Untersuchungen in dieser Richtung werden wir später kennen lernen.

Der innere Widerstand einer Zelle kann leicht nach dem Ohm'schen Gesetz berechnet werden, da $J = \frac{E}{W + w}$ ist, indem man

J = der Stromstärke,
E = der Spannung,
W = dem äußeren Widerstand setzt und daraus
w = dem inneren Widerstand berechnet. In der Tabelle S. 100 finden wir die Stromstärke der Entladung um 10 Uhr auf 46,65 A. bei 2,04 V., der äußere Widerstand war 0,433 Ohm und der innere Widerstand ergiebt sich z. b. Z. auf ca. 0,0004 Ohm. Um 12.45 Uhr fällt der Strom auf 40,66 A., die Spannung auf 1,87 V. und der innere Widerstand ist gestiegen auf

$$w = \frac{1{,}87 - 1{,}74838}{40{,}66} = 0{,}00299 \text{ Ohm oder}$$

um das siebenfache des Widerstandes bei Beginn der Ladung.

In der Tabelle S. 101, ist um 9 Uhr der Strom 22,56 A., die Spannung 2,04 V. bei einem äußeren Widerstand von 0,689 Ohm, der innere Widerstand daraus ca. 0,0004 bei voller Ladung. Um 4 Uhr fiel die Stromstärke auf 20,7 A. und die Spannung auf 1,9 V., so daß der innere Widerstand auf 0,0028 Ohm gestiegen war, also siebenmal so hoch als bei Beginn der Entladung.

Der innere Widerstand einer Zelle kann zwar durch Vermehrung des Säuregehaltes verringert werden, jedoch nur in gewissen Grenzen, und

Digitized by Google

diese Grenze ist durch den Mindestgehalt der Säure bestimmt, welche für die Bildung einer gewissen Menge von Sulfat nötig ist. Der innere Widerstand kann auch durch Näherbringen der Platten untereinander verringert werden, worin man jedoch wieder durch die gewisse notwendige Säuremenge beschränkt ist, und weiter durch Vergrößerung der Oberfläche der Platten, womit man jedoch außer einer Vergrößerung der Zellen auch die der Kapazität herbeiführen würde.

Man ist also gezwungen, einen gewissen inneren Widerstand festzuhalten, an den man also, ohne gewisse andere Faktoren preiszugeben, gebunden ist. Es ist ja ohnehin schon der innere Widerstand eines Accumulators im Verhältnis zum äußeren Widerstand sehr gering.

Nutzeffekt.

M. E. Regnier in Paris hat 1881 in einer Arbeit an die physikalische Gesellschaft daselbst den Nutzeffekt eines Accumulators in folgender Weise dargestellt: Es sei

E die Spannung der Batterie,
E_1 „ „ des Ladestromes,
w der Widerstand der Zellen,
E_2 die Spannung der Glühlampen,
W der Widerstand des äußeren Stromkreises,
W_1 der Widerstand des Ladeapparates,
t die Zeit der Ladung,
t_1 „ „ der Entladung,
A die Arbeit des Ladeapparates,
P die im äußeren Stromkreise nutzbare Arbeit;

so ist: $A = E_1 \frac{E_1 - E}{W_1 + w} t$, $P = \frac{E_2^2}{w + W}$, $\frac{E_1 - E}{W_1 + w} t = \frac{E_2}{w + W} t_1$,

$t_1 = \frac{\frac{E_1 - E}{W_1 + w} t}{\frac{E_2}{W + w}}$ und $P = \frac{E_1 - E}{W_1 + w}$, folglich der Nutzeffekt $f = \frac{P}{A} = \frac{E_2}{E_1}$.

In Worten: der Nutzeffekt ist gleich der Spannung an den Lampen geteilt durch die Spannung der ladenden Dynamo, mithin macht Regnier den Nutzeffekt unabhängig von Widerstand, Zeit und Stromstärke. Es sei:

E = 2,15	W_1 = 0,006	so erhält Regnier
w = 0,006	E_2 = 1,93	$f = \frac{1,93}{2,36} = 81,8\ \%$.
E_1 = 2,36	W = 0,054	

Dies ist jedoch nur richtig, wenn bei Ladung und Entladung die A.-Std. gleich sind. Man hat dies bis jetzt jedoch in der Praxis noch nicht er-

Digitized by Google

reichen können. Zeit wie Stromstärke, als auch die Spannungen spielen beim Bemessen des Nutzeffekts eine gleich große Rolle.

Man soll den Nutzeffekt der Zellen unabhängig von allen äußeren Einflüssen ausdrücken, wie es der äußere Widerstand, der Maschinenwiderstand ꝛc. sind und zwar mit dem Ausdruck:

$$f = \frac{i \times t \times E}{i_1 \times t_1 \times E_1}, \text{ wobei ist}$$

i_1 der Ladestrom,
i der Entladestrom,
E_1 die Ladespannung an der Batterie,
E die mittlere Zellenspannung beim Entladen mit mittlerer Stromstärke,
t_1 die Ladezeit in Stunden,
t die Entladezeit.

Man ladet z. B. bei 2,4 Volt per Zelle mit 29 A. während 6 Stunden, die Entladung sei 45,76 A. 3 Stunden mit 1,964 V., so ist der Nutzeffekt

$$f = \frac{45{,}76 \times 3 \times 1{,}964}{29 \times 6 \times 2{,}4} = 0{,}645 \text{ oder } 64{,}5\ \%.$$

Bei dem Versuch auf S. 101 mit 22,34 A. und 2,0 V. mit 7 Stunden Entladung ist der Nutzeffekt $f = \frac{22{,}34 \times 7 \times 2}{29 \times 6 \times 2{,}4} = 74{,}9\ \%$. Da die Ladung in diesem Falle mit verhältnismäßig hoher Stromstärke von 29 A. erfolgte, so ist der Nutzeffekt von 74,9 % als günstig zu betrachten.

Bei einer geringeren Stromstärke für die Ladung und Entladung und bei häufigeren Ablesungen würde man einen viel höheren Nutzeffekt erhalten, doch darf man Laboratoriumsversuche nicht in der Praxis als maßgebend betrachten, hier muß man mit einem Nutzeffekt mindestens von ca. 70 % unter normalen Verhältnissen rechnen, und dies darf man bei Berechnung von Kosten der Anschaffung, Feuerung, Unterhaltung und Abnützung niemals vergessen.

Der Standpunkt, daß die Accumulatoren noch nicht so weit gediehen sind, um sie überall in die Praxis einzuführen, ist nunmehr endlich überwunden, dies beweisen die Thatsachen ihrer ausgedehnten Anwendung im größten Maßstabe bei Elektrizitätswerken, wie dies auch später an Beispielen gezeigt ist. Die Erfolge, die erzielt sind, geben die Berechtigung, weiter an ihrer Vervollkommnung mit allen Kräften zu arbeiten.

Verfasser hat es nicht unternommen, dieses Werk zu schreiben, um die Mängel der Accumulatoren zu verdecken, er ist selbst auch nicht etwa Fabrikant von solchen, sondern die nackten Thatsachen des bis jetzt Geleisteten sollen hier übersichtlich jedermann zugänglich ge-

macht werden. Die Accumulatoren sind noch nicht vollkommen, aber sie sind praktisch durchaus brauchbar.

Gar viele haben sich in Herstellung von Accumulatoren versucht, dies zeigt schon die große Zahl der darauf nachgesuchten Patente, aber nur wenige sind übrig geblieben im Wettstreit. Diejenigen jedoch, welche ausgehalten haben im harten Kampf um das Ziel, finden heute ihre Bemühungen reichlich belohnt.

Was wir brauchen, sind: gesunder ehrenhafter Wettstreit, Verminderung der Herstellungskosten, bessere Werkzeuge und Arbeiter, neue Erfindungen, welche vorhandene Rechte nicht verletzen, die ja genau festgestellt werden können. Man braucht niemand zu nahe zu treten, die Grenzen sind weiter als man sich allgemein denkt. Auch ist keine Aussicht, ein Monopol zu erzielen, es sei denn für solche, welche kräftig und klug genug sind, den besten, dauerhaftesten und effektvollsten Accumulator herzustellen auf einer Basis, die von der ihrer Vorgänger vollkommen abweicht.

Die ganze Erde bedarf der Accumulatoren, und in ihr ist Platz für viele, wenn nur intelligente Leute in genügender Zahl sich dieser interessanten und aussichtsvollen Industrie widmen wollten.

Graphische Darstellung der Vorgänge.

Um die inneren Vorgänge in einer Zelle ganz zu verstehen, konstruiert man am besten Kurven, die uns mit einem Blick den Verlauf eines Versuches zeigen. Die Kurven einer Zelle sind gerade so wichtig und lehrreich als das Indikator-Diagramm einer Dampfmaschine. Die Fig. 58—60, welche nach den Tabellen S. 100—101 gezeichnet sind, zeigen je zwei Kurven, die eine für hohe, die andere für schwache Stromstärke, und zwar Fig. 58 für die Stromstärke, Fig. 59 für die Spannung, Fig. 60 für die Energie in Watts.

Sinken der Spannung und Stromstärke.

Betrachtet man die Kurven in Fig. 59, so erkennt man ein rapides Gefälle in den ersten Minuten. Die Ursache hiervon liegt teilweise darin, daß der zum Entladen benützte Widerstand sich schnell erwärmte und sein Widerstand langsam stieg, teilweise aber auch darin, daß wir zu Anfang der Entladung gewissermaßen eine Gasbatterie haben, deren Gase, Sauerstoff und Ozon, auf der Oberfläche der Platten angesammelt sind. Hieraus erklärt sich auch der Umstand, daß die Anfangsspannung einer völlig geladenen Zelle zwischen 2,15 und 2,25 V. liegt. Eine andere Ursache der

Digitized by Google

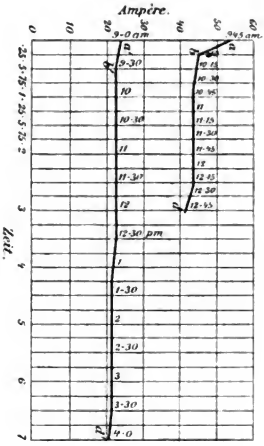


Fig. 58.

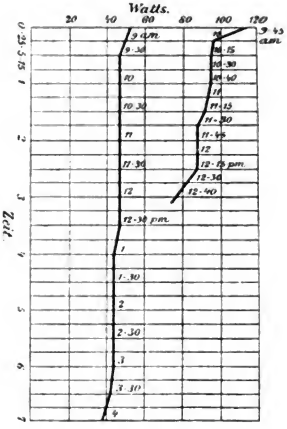


Fig. 60.

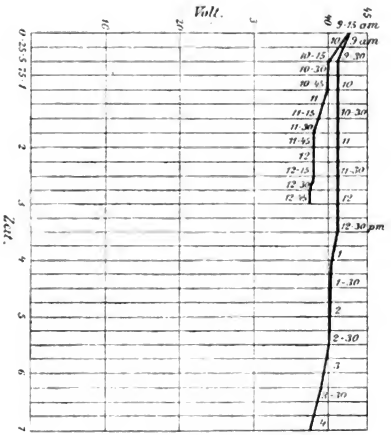


Fig. 59.

Digitized by Google

Intensitätsverminderung liegt nach Dr. Lodge darin, daß, so weit auf der Oberfläche Wasserstoff verschwindet, ein Schaum von Sulfat auf den negativen Platten gebildet wird; diese Sulfathaut vermehrt den inneren Widerstand einer Zelle, wie auch die Spannung derselben, so daß besonders auch die Stromstärke eines kräftigen Stromes beträchtlich herabgedrückt wird. Je größer das Verhältnis des Stromes beim Entladen der Zelle ist, desto mehr wird diese Haut Widerstand bieten, und dies ist der hauptsächlichste Grund, warum eine Zelle keinen sehr starken und zugleich konstanten Strom auf längere Zeit giebt. Läßt man die Zelle stehen, so klärt sich die Haut und die ursprüngliche Kraft wird zum größten Teil wieder hergestellt. Auch wird sie um so schneller verschwinden, je schneller sie entstanden ist. Wurde sie durch einen sehr kräftigen Strom sehr schnell gebildet, so braucht die Zelle nicht lange zu stehen, um sich wieder zu erholen. Die Ursache des Aufklärens dieser isolierenden Haut glaubt man in der lokalen Wirkung zwischen dem wasserstoffreichen Blei in den tieferen Schichten der Belegung und dem Wasserstoff entzogenem Blei der Oberfläche zu finden, und wenn dem so ist, dann muß es eine Zeit geben, wo die Haut sich nicht weiter klärt und eine permanente Vermehrung des inneren Widerstandes Platz greifen wird, welcher sich mit dem tiefer und tieferen Eindringen der Wirkung in die negative Belegung vermehrt. Dies geschieht so lange, bis das metallische Blei nur durch Eindringen durch eine Oberflächen-Schicht von nicht leitender Beschaffenheit erreicht werden kann. Dieselbe besteht aus Sulfat und wie es scheint auch aus niederoxydiertem Blei.

Anfang der 80er Jahre machte Prof. Herschel mit einer reinen und mit einer mit Peroxyd bekleideten Bleiplatte, die beide in verdünnte Schwefelsäure eintauchten, Versuche. Er fand, daß eine nicht leitende Haut von Sulfat auf der reinen Platte in dem Augenblick gebildet wurde, wo dieselbe Strom geben sollte. Diese Haut schützte gewissermaßen das Metall vor der Flüssigkeit und verursachte dadurch eine Erhöhung des inneren Widerstandes. Die Bildung der Haut kann nur entstehen, wenn der Stromkreis geschlossen ist, niemals wenn die negative Platte in reiner Säure steht. Erneutes Laden entfernt die Haut von der negativen Platte durch Abschälen, nicht durch Reduzierung. Wenn man jedoch an Stelle einer reinen homogenen Bleiplatte schwammiges Blei verwendet, bei großer Oberfläche, dann braucht die Haut zu ihrer Bildung eine viel längere Zeit.

Die Konstanz des Stromes hängt von der eingeschlossenen Wasserstoffmenge ab, folglich muß das Entladungsverhältnis in Proportion zur totalen nutzbaren Oberfläche stehen. Die Fig. 58—60 zeigen dies noch viel besser. Nimmt man an, daß das schnelle Fallen des Stromes in den

Digitized by Google

ersten 15 Minuten durch vorübergehende Ursache erzeugt wird, wie wir dies schon zuvor hervorgehoben haben, so werden wir finden, daß bei dem Bemühen, die Zelle bei hohem Verhältnis arbeiten zu lassen, der Strom von 46,65 auf 40,66 Amp. in Zeit von 2,75 Std. sinkt, während bei mäßiger Entladung die Differenz nur 1,86 Amp. während 6,75 Std. beträgt. Wir können eine große Arbeitsoberfläche in einem kleinen Raum nur dadurch erzielen, daß wir fein zerteiltes Blei anwenden, Bleioxyde aus Bleischwamm reduziert, Blei für die negativen Platten. Es ist ferner von Wichtigkeit, daß die Lage des Bleischwammes von mäßiger Stärke ist, weil volle Thätigkeit nur bis zu einer gewissen Tiefe eintritt, da die Säure entweder nicht in genügender Menge in die poröse Masse eindringen kann oder sich in derselben schnell erschöpft, da sie sich mit dem Blei verbindet. Es entstehen dadurch auch daneben Erschöpfungen durch die nicht leitenden so entstandenen Produkte.

Um die Diffusion mit der ganzen Flüssigkeit zu erleichtern, müssen die Platten verhältnismäßig dünn sein. Thatsächlich je dünner sie sind, desto größer ist ihre Wirksamkeit und desto stetiger die Entladung; immer vorausgesetzt, daß das Volumen des porösen Materials im gewissen Verhältnis zur ganzen Kapazität des Accumulators steht.

Sulfatbildung.

Die Bildung von Bleisulfat auf in Schwefelsäure bestehenden Platten ist eine natürliche Folge. Die Bildung des Sulfats ist eine Notwendigkeit. Ohne dasselbe könnte die Ladung nicht auf lange Zeit festgehalten werden und vor allem verhindert es lokale Einwirkung zwischen Metall und dessen Oxyden; ein größerer Überfluß jedoch dieser Bleiverbindung wirkt verderblich auf die Dauerhaftigkeit und das gute Funktionieren einer Sekundärbatterie. Beim Laden wird das Bleisulfat auf den Platten zersetzt, es findet eine Rückbildung von Schwefelsäure statt, so daß schließlich die Stärke der Lösung vollständig wieder hergestellt wird. Beim Entladen jedoch wird Bleisulfat sowohl auf den positiven wie auf den negativen Platten gebildet und dadurch die Stärke, d. h. die spezifische Schwere der Säure vermindert.

Stärke der Säure.

Reines Wasser wie konzentrierte Schwefelsäure sind schlechte Leiter, aber eine Mischung beider giebt ein gut leitendes Mittel. Die beste Dichte der Mischung hängt von verschiedenen Umständen ab: Wenn die Säure zu stark ist, so bildet sich leicht ein Überschuß von Sulfat auf den Platten, veranlaßt sie, sich auszudehnen und schließlich beim Entladen

Digitized by Google

bucklig zu werden; ist die Lösung zu schwach, dann ist Gefahr vorhanden, daß fast reines Wasser am Ende der Entladung übrig ist und folglich ein großer innerer Widerstand entsteht. Wenn eine Zelle mit formierten Platten neu aufgestellt wird und die Säure hineingegossen ist, so fällt die spezifische Schwere sofort und zeigt dadurch an, daß sich Sulfat bildet. Beim Laden der Zelle wird die Stärke der Säure allmählich wieder steigen.

Die Tabellen 3 und 4 sind in der Absicht entworfen, um diesen Vorgang zu erläutern. Es wurden 3 Zellen A B C von gleicher Größe und Kapazität gebraucht. Zelle A wurde mit Säure gefüllt von 1100°. (Wasser gleich 1000 gesetzt.) B von 1125°, C mit Säure von 1200°. Sofort nach Eingießen der Flüssigkeit in die Kasten wurde der Strom geschlossen und einige 20 Amp. kamen eine Stunde lang zur Anwendung, ehe eine Änderung in der Dichte der Flüssigkeit eintrat.

Tabelle III. Laden der Zellen.

A.-Std.	Dichte der Säure			A.-Std.	Dichte der Säure		
	A	B	C		A	B	C
0	1100	1125	1200	200	1139	1174	1229
20	1100	1125	1200	250	1150	1184	1240
50	1105	1133	1203	300	1162	1200	1245
100	1115	1143	1211	340	1175	1208	1256
150	1127	1164	1218				

Tabelle IV. Entladung der Zellen.

A.-Std.	Dichte der Säure			A.-Std.	Dichte der Säure		
	A	B	C		A	B	C
0	1170	1200	1250	200	1118	1144	1202
50	1155	1184	1238	250	1104	1129	1189
100	1143	1168	1227	300	1094	1115	1176
150	1132	1154	1215				

Trotz der Ladethätigkeit war auch ebenfalls eine Neigung vorhanden, daß das spezifische Gewicht sank, es mußte daher eine Art Gleichgewicht zwischen 2 entgegengesetzten Arten der Energie vorhanden gewesen sein, von denen die eine bestrebt war, Sulfat zu bilden, die andere es zu reduzieren.

Nach Anwendung von 20 Amp. und ca. 2,38 Volt per Zelle fing die spezifische Schwere an zu steigen, proportional dem Grade der Ladung,

Digitized by Google

die in den Zellen aufgenommen wurde. Die Fig. 61 zeigt dies noch viel frappanter als die Tabellen. Die Ladung in A.-Std. ist als Abscissen und das spezifische Gewicht als Ordinaten aufgetragen. Die Säure der Zelle A, welche bei Beginn 1100° hatte, stieg auf 1175; die von B stieg von 1125 auf 1208 und die von C ging von 1200 auf 1250° in die Höhe. Alle Zellen mit einer Ladung von 340 A.-Std. Über Nacht ließ man die Zelle stehen, und als am anderen Morgen das Areometer beobachtet wurde, war die Dichte 1170, 1200 und 1250 für die bezüglichen Zellen A B C, was einer Reduktion von 5,8 und 6° der Flüssigkeit entspricht. Diese Herabminderung mag durch 3 Ursachen hervorgerufen sein:

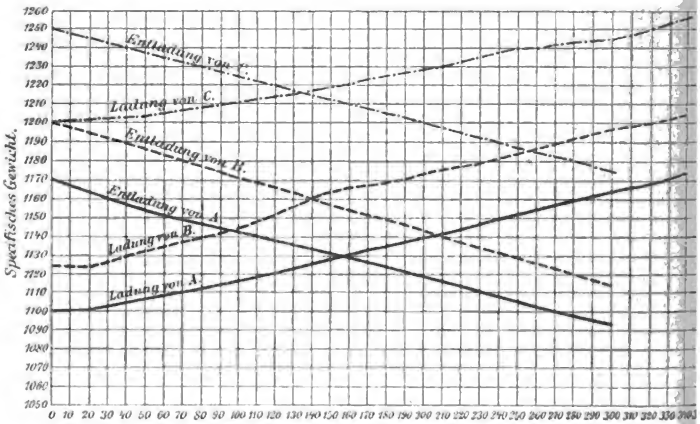


Fig. 61.

1. durch eine leichte Sulfatbildung,
2. durch Oberflächennebenschluß,
3. und dies vielleicht hauptsächlich, durch Schichten von verschiedenem spezifischen Gewicht in jeder Zelle.

Die Flüssigkeit im tieferen Teile einer frisch geladenen Zelle ist gewöhnlich etwas reicher an Säure als die an der Oberfläche; da die Kugel des Areometers in den tieferen Teil des Gefäßes eintaucht, zeigt es nicht die mittlere Dichte an. Diese Erscheinung bestätigt auch die Untersuchungen des Herrn Ayrton, welche in einem besonderen Kapitel mitgeteilt sind. Theoretisch sollten alle Säurekurven in Fig. 61 gerade Linien sein. Sie

sind es jedoch nur annähernd, und die Unregelmäßigkeiten kommen ohne Zweifel von der letzterwähnten Ursache. Die Diffusion von Flüssigkeit kann durch Umrühren unterstützt werden, doch wenn man dies thäte, würden große Gasblasen sofort aufsteigen, und das wäre gleichbedeutend mit einem Verlust an Kapazität. Gegen das Ende der Ladung, wenn man selbige ganz vollendet und man die Flüssigkeit „kochen" läßt durch ein wenig Überladung, so wird die Flüssigkeit ökonomisch aufgerührt. Die Zellen A B C wurden nicht überladen.

Da das spezifische Gewicht der Säure steigt und fällt je nach der Größe der bewirkten Ladung der Zellen resp. Entladung, so ist klar, daß das Areometer nicht nur zur beständigen Kontrolle zur Ladung und Entladung dienen kann, sondern es kann durch einige Änderungen ökonomisch den Stromkreis öffnen oder schließen zu irgend einem beliebigen Zeitpunkte der Ladung und Entladung. Einen solchen Apparat hat J. S. Sellon 1884 konstruiert, der Areometer schwamm frei in dem Elektrolyt einer Zelle. An seinem oberen Ende war ein Seidenfaden befestigt, der über eine Rolle geführt am Ende ein Gewicht trug. Man hat die verschiedensten Änderungen dieser Anordnung ersonnen, sie haben jedoch keine Anwendung in der Praxis gefunden. Die Anwendung solcher Apparate ist schwierig, da der Raum zwischen den Platten die Einführung eines Areometers nicht gestattet, und wenn man das letztere an einer Seite oder einer Ecke der Zelle einsenkt, so giebt es nicht genau das spezifische Gewicht zwischen den Platten an, wo doch schließlich der ganze Vorgang stattfindet.

Trotzdem hat man Accumulatoren speziell zur Aufnahme solcher Apparate konstruiert, deren Angaben über die Dichte des Elektrolyten natürlich nur annähernd sind. Aus bekannten Gründen sind die Zwischenräume zwischen den Platten sehr eng. Es ist üblich, die Zellen ein wenig größer zu machen als zur Aufnahme der Platten notwendig ist. Die Abstände der Platten macht man für transportable Zwecke gewöhnlich, gleich der Stärke der Platten, während größere stabile Platten mit etwa 10 mm Abstand angeordnet sind. Nach erprobter Praxis nimmt man zur ersten Füllung der mit völlig formierten Platten versehenen Zellen Säure von 1170. Bei größeren Abständen der Platten kann schwächere Säure gebraucht werden, doch ist dann der innere Widerstand ein wenig höher.

Wenn zu irgend einer Zeit die Säure aus den Zellen entfernt werden soll, um Reparaturen oder Revisionen vorzunehmen, so thut man gut, das spezifische Gewicht dieser Zelle zu notieren, damit beim Wiedereinsetzen der Platte dieselbe spezifische Schwere wiederhergestellt wird. Wenn zum

Digitized by Google

Beispiel völlig geladene Platten aus den Zellen genommen werden, und man bei Wiedereinsetzen Säure von 1120° braucht, dann findet man, daß in der ersten Zeit des Ladens die Stärke der Säure nicht wünschenswert steigt, während beim Entladen das spezifische Gewicht auf etwa 1060° sinkt, was zu wenig wäre. Die positiven Platten werden in diesem Falle durchweg oxydiert und von Sulfat entblößt. Andererseits, wenn die Platten vor dem Herausnehmen entladen sind, dann müssen sie in dieselben oder doch entsprechend starke Säure wie vorher wieder hineingesetzt werden.

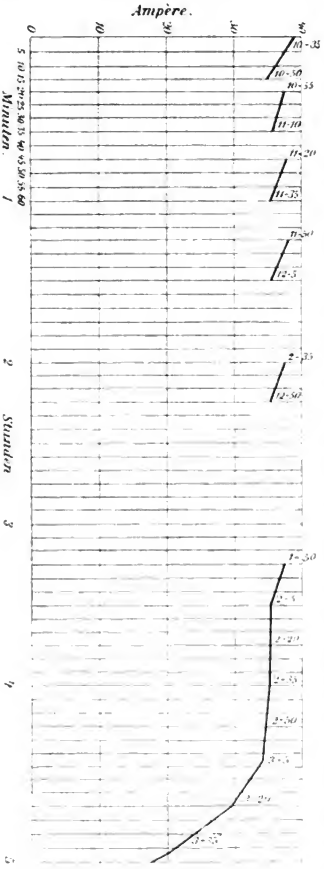


Fig. 62

Erholen, unterbrochene Entladung.

Schon weiter oben haben wir bereits angeführt, daß durch Unterbrechung des Entladeprozeßes und Ruhenlassen der Platten die ursprüngliche Kraft zum großen Teil wiederhergestellt wird, und daß dieses Erholen einer Zelle während der Ruhe in enger Verbindung mit der Bildung und Beseitigung einer nicht leitenden Haut steht.

Um dies zu erläutern, wurden besondere Versuche angestellt, deren Ergebnisse in Tabelle V enthalten sind, und die gleichfalls auch in der Fig. 62 dargestellt sind. Die beobachtete Zelle wurde beinahe doppelt so stark, als das normale Verhältnis ist, entladen. Um 10 Uhr 35 vormittags beginnend, beobachteten wir einen Strom von 39,4 A., derselbe fiel am Ende der

Digitized by Google

ersten Viertelstunde auf 36 A. Dann ließen wir die Zelle 5 Minuten ruhen, beim Wiedereinschalten erhielten wir 37,3 A. und 15 Minuten später 35,9 A. Nach weiterer Pause von 15 Minuten stand der Strom beim Einschalten auf 37,4 A. und fiel nach 15 Minuten wieder auf 35,6 A., also ein wenig niedriger als zuvor. Dann wurde die Pause auf 15 Minuten ausgedehnt mit einem ähnlichen Ergebnis, und dies änderte sich auch kaum, als 20 Minuten Pause gemacht wurden. Der Teil dieses Versuches wurde um 12 Uhr 50 nachmittags abgebrochen. Als wir um 1 Uhr 50 nachmittags die Entladung berechnet hatten, war der Strom immer noch 37,4 A.; er fiel allmählich in weiteren Pausen bis 3 Uhr 5 nachmittags. Zwischen dieser Zeit und 3 Uhr 50 nachmittags trat eine schnelle Abnahme ein so daß schließlich nur 16,25 A. mit einem konstanten äußeren Widerstand erzielt werden konnten.

Tabelle V. Unterbrochene Entladung.

Zeit	Stromstärke Amp.		Zeit	Stromstärke Amp.	
10,35 vormitt.	39,4	eingeschaltet	1,50 nachmitt.	37,4	eingeschaltet
10,50 „	36	ausgeschaltet	2,5 „	35	fortgesetzt
10,55 „	37,3	eingeschaltet	2,20 „	34,9	„
11,10 „	35,9	ausgeschaltet	2,35 „	34,7	„
11,20 „	37,4	eingeschaltet	2,50 „	34	„
11,35 „	35,6	ausgeschaltet	3,5 „	33,3	„
11,50 „	37,5	eingeschaltet	3,20 „	29,5	„
12,5 nachmitt.	35,6	ausgeschaltet	3,35 „	21	„
12,35 „	37,5	eingeschaltet	3,50 „	16,25	ausgeschaltet
12,50 „	35,4	ausgeschaltet			

Die Ergebnisse dieser Versuche über das „Erholen" eines Accumulators sind insofern wichtig, als sie beim Betriebe von Straßenbahnwagen eine sehr große Rolle spielen. Das Anfahren verlangt bei diesen Wagen oft eine momentane große Stromstärke, die immer wieder nach jedesmaligem Anhalten notwendig wird. Da nun die Versuche zeigen, daß es für das Erholen gleichgültig ist, ob eine Ruhe von 5 Minuten oder von 1 Stunde stattfindet, so ist im praktischen Betriebe immer darauf zu rechnen, daß der größere Kraftbedarf für das Anfahren auch wieder vorhanden ist.

Verhältnis der aktiven Masse zur Säure.

Ist der Elektrolyt zu schwach oder ist er nicht in genügender Menge vorhanden, so wird er von den Platten absorbiert oder die Säure wird so frühzeitig erschöpft, daß nur noch Wasser übrig ist. Es muß daher zwischen

Digitized by Google

dem Volumen der Säure und dem Volumen der aktiven Masse ein bestimmtes Verhältnis eingehalten werden. Schon früher bei den Versuchen erwähnten Zellen von 150 A.-Std. mit 23 Platten enthielt 605,16 kbcm (36,9 kb-Zoll) aktive Masse in den 11 positiven Platten und 495,77 kbcm. (30,23 kb-Zoll); schwammiges Blei in den 12 negativen Platten zusammen also 1100,93 kcbm (67,13 kb-Zoll) aktives Material. Der Rauminhalt der 23 Platten mit ihren Unterstützungen ist 1720,635 kcbm (105 kb-Zoll). Der räumliche Inhalt des Gefäßes beträgt, wenn die Flüssigkeit ¼ Zoll (6 mm) über die Platte ragt, 280 kb-Zoll (4387,360 kbcm). Infolgedessen bleiben 175 kb.-Zoll (2867,725 kbcm), für die Säure 1170° Dichtigkeit übrig. Mithin haben wir 2,6 kb.-Zoll (42,606 kbcm.) Säure für jeden kb.-Zoll (16,387 kbcm) aktive Masse und 1,666 kb.-Zoll (27,300 kbcm) Säure für jeden kb.-Zoll Platten, inbegriffen alle Unterstützungen, Rahmen und Polenden. Dieses Verhältnis hat sich in der Praxis durchaus bewährt.

Leistung verschiedener Systeme.

In einem Bericht über die internationale elektrotechnische Ausstellung zu Frankfurt a. M. bringt L'Électricien vom 2. Januar 1892 eine Tabelle aus einer Arbeit von M. Carl Hering, welche eine Übersicht der Leistung verschiedener Systeme giebt.

	Name der Zelle	Per lbs Blei		Per Kilo Blei		Autor
		Fuß lbs	Watt-Std.	Kgmeter	Watt-Std.	
1	Planté	12,000	4,52	3,664	10	
2	Faure	18,000	6,78	5,495	15	
3	E. P. S. L Platten .	48,000(?)	18,09 (?)	14,600(?)	39,8(?)	Howard
4	„ R „	36,080	13,6	11,010	30	(?) Hospitalier
5	„ S nom	31,800	12	9,540	26	Fitz-Gerald
6	22 lbs Zelle . .					
7	Elwell-Parker (alte Form)	6,633	2,5	2,018	5,5	Prospektus
8	Lithanode Batterie (alte Form) . .	39,798	15	12,110	33	Fitz-Gerald
9	Lithanode Batterie „Union" Zelle .	47,170	17,8	14,671	39,16	G. Forbes

In der Zelle Nr. 3 ist offenbar nicht die nutzbare, sondern die totale Kapazität in Rücksicht gezogen, jedoch auch in diesem Falle erscheinen die gegebenen Werte zu hoch. Daher das Fragezeichen.

Digitized by Google

Gewicht per Pferdekraft-Stunde Kapazität verschiedener Zellen.

	Name der Batterie	lbs	Kg	Komplette Zelle lbs	Komplette Zelle Kg	Autor
1	Planté	—	—	396	180	Reynier
2	Faure	—	—	88	40	Faure
		—	—	165	75	Sir W. Thomson
	„ (altes Modell)	—	—	198	90	Reynier
	„ (neues „)	—	—	134	61	
3	E. P. S. L Platten	—	—	133	60,4	Prospectus
		—	—	110	50	Reckenzaun
	„ S „	66	30	135	61,3	Fitz-Gerald
4	Reynier Zink positiv	50,6	23	117,5	53,4	R. Tamine
	Reynier Planté-Form	105	47,6	—	—	Idem
5	Lithanode Batterie (alte Form)	42	19,1	76	34,5	Fitz-Gerald
6	Lithanode Batterie „Union" Zelle	42	19	70	31,5	G. Forbes

Fabrikant	Kapazität in A.-Std.	A.-Std. per Kg Plattengewicht	A.-Std. per Kg Zellengewicht	Ladung Amp. per Kg Platte	Entladung Std.	Preis Frcs. per A.-Std.
de Khotinsky	100	—	—	—	3,5	0,37
do.	100	—	—	—	8,0	0,34
Hagen	100	3,74	2,42	1,05	3,0	0,53
do.	107	5,06	3,08	0,97	5,0	0,42
do.	108	6,38	4,18	0,64	10,0	0,34
Tudor	111	3,52	2,86	0,70	5,0	0,55
Oerlikon	115	6,38	5,06	1,10	5,3	0,49
Hagen	128	5,94	3,74	0,86	7,0	0,35
de Khotinsky	500	—	—	—	8,0	0,26
do.	500	—	—	—	3,5	0,27
Oerlikon	500	6,16	5,28	1,14	5,4	—
Tudor	505	—	2,64	—	3,3	0,44
Hagen	564	7,26	5,06	0,73	10,0	0,26
do.	507	6,16	3,96	1,18	5,0	0,34
do.	520	4,18	3,08	1,36	13,0	0,44
do.	1440	7,48	5,94	0,75	10,0	0,24
de Khotinsky	1600	—	—	—	8,0	0,23
do.	1600	—	—	—	3,5	0,22
Tudor	2100	—	3,52	—	6,7	0,32

Digitized by Google

Man wird in dieser Tabelle überrascht sein von der geringen Kapazität per Kilo Plattengewicht, was sich daraus erklärt, daß die Accumulatoren hauptsächlich für Elektrizitätswerke bestimmt sind. Man muß ferner berücksichtigen, daß die Kapazität sich in weiten Grenzen ändert je nach der Schnelligkeit der Entladung. Es ist dies bei Vergleichen jedesmal zu berücksichtigen; noch besser findet man diese Thatsache durch die in nachstehender Figur 63 gegebenen Kurven veranschaulicht, welche sich auf 2 Platten von G. Hagen beziehen und gleichfalls von M. Hering herrühren. Bei einer Entladung von 10 Stunden ist die Kapazität bei diesen beiden Platten 42 A.-Std. Dieselbe fällt bei einer nochmal so schnellen Entladung auf 32,5 A.-Std. Diese Änderung tritt um so schneller ein, wenn die aktive Masse kompakt und nicht in vielen kleinen Teilen von dem Blei der Platte umschlossen ist. Sie ist also von der Konstruktion der Platten abhängig.

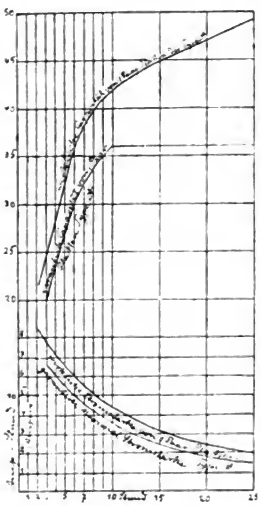


Fig. 63

Eine weitere sehr interessante Übersicht gab Desmond G. Fitz-Gerald.*)

Die „Deutschen Aluminium-Accumulatoren-Werke“ zu Berlin, welche früher ihre negativen Platten aus Aluminium machten, fertigen jetzt eine Platte nur aus Masse mit einem schmalen Bleirahmen. Die Untersuchung einer Zelle von 50—60 A.-Std. ergab beim Laden 2,23 bis 2,28 Volt, sie wurde bis auf 1,88—1,84 Volt entladen. Es entfielen auf das Kg. positive Elektrode nach dem Prospekt der Fabrik 31,6 A.-Std. Erfahrungen aus dem praktischen Betriebe liegen noch nicht vor.

*) Vortrag in the Society of Telegraph-Engineers and Electricians. Review 1883. 1878.

Digitized by Google

VII. Die Verwendung der Accumulatoren.

1. Zur Beleuchtung.

An verschiedenen Orten ist bereits eingehend erörtert, aus welchen Gründen die Accumulatoren für die Beleuchtung vorteilhaft sind. Dieselben erzeugen nicht allein ein ruhiges und gleichmäßiges Licht, sondern bieten auch eine unbedingte Betriebssicherheit, so daß, wenn die Maschinen aus irgend einem Grunde plötzlich versagen, durch geeignete Vorkehrungen die Accumulatoren in Thätigkeit treten können, ohne daß dieser Wechsel die Stetigkeit des Lichtes irgendwie beeinflußt. Man hat ferner die Möglichkeit, zu jeder beliebigen Zeit ganz unabhängig vom Maschinenbetriebe aus den Accumulatoren Strom zu entnehmen und die Maschinenanlage nur zu gewissen Stunden in Thätigkeit zu setzen, so daß sie wirtschaftlich am günstigsten ausgenutzt werden können. Die Accumulatoren machen ferner eine Reserve-Beleuchtung durch Gas, Petroleum oder Kerzen überflüssig, da sie selbst in jedem Falle die größte Sicherheit für stetige Lichterzeugung liefern. In den meisten Fällen ist es auch möglich mit Hilfe der Accumulatoren den Umfang der Maschinen-Anlagen zu verringern. Da man neuerdings bei vielen Anlagen automatische Vorrichtungen anwendet, welche die Spannung selbstthätig in engsten Grenzen reguliert, so erzielt man hierdurch auch eine bessere Haltbarkeit der Glühlampen. Zu Zeiten, wo die Accumulatoren allein Licht liefern, ist die Bedienung die denkbar einfachste. Ein Mann genügt, den Gang der Stromabgabe zu beobachten und event. die Spannung von Hand zu regulieren. Unter Umständen ist es möglich, die Anlagekosten und Betriebskosten zu verringern und bei Erweiterung einer Anlage kann man eben durch Zusatz einer Batterie die Leistungsfähigkeit der Maschinen in leichtester Weise vergrößern. Am vorteilhaftesten ist es, wenn die gesamte zu erzeugende Energie zu gleichen Teilen von der Maschine und Accumulatoren geliefert wird. Man wird also die Maschinen-Anlage so groß etwa wählen, daß die Maschinen die halbe Lampenzahl mit Strom versorgen können, während die Accumulatoren die Kapazität für die andere Hälfte haben müssen, so daß beides zusammen für den maximalen Bedarf täglich ausreicht. Die Batterie wird bei Tage unter günstigster Ausnützung der Maschinen-Anlage geladen, letztere arbeitet während des Hauptlichtbedarfs unter gleicher und vollständiger Belastung mit. Sobald der Hauptlichtbedarf bis auf die Hälfte herabgegangen ist, werden die

Digitized by Google

Maſchinen ſtill geſetzt und die Accumulatoren übernehmen nun allein in den ſpäten Nachtſtunden die Stromlieferung.

In welcher Weiſe man Maſchinen und Accumulatoren zu ſchalten hat, um dieſe Vorteile zu erreichen, werden wir ſpäter in Kapitel VIII kennen lernen. Die nachfolgenden Abſchnitte geben ein überſichtliches Bild des Nutzens und der Erfahrungen, welche man im Großbetrieb mit Accumulatoren bis jetzt erzielt hat.

Die Anwendung der Accumulatoren zur Beleuchtung insbeſondere für Elektrizitätswerke und deren Betriebsergebniſſe.

Über die Betriebsergebniſſe, den Nutzeffekt und ſonſtige Erfahrungen bei der Anwendung von Accumulatoren in den Elektrizitätswerken hat man bis jetzt wenig erfahren. Vor kurzem jedoch iſt eine Broſchüre erſchienen, welche hierüber in manchen Punkten ſehr eingehend Aufſchluß giebt. Wenn auch dieſe Broſchüre lediglich im Intereſſe der Accumulatorenfabrikanten geſchrieben iſt und man vielleicht nicht alle Zahlen als vollſtändig korrekt wird auffaſſen dürfen, ſo iſt es doch unzweifelhaft von großem Nutzen, die dort angegebenen Daten hier mitzuteilen.*) Die hier erwähnte Schrift wendet ſich hauptſächlich gegen die Ausführungen des Herrn Roß, welcher das Wechſelſtrom-Syſtem für Zentralanlagen empfiehlt, und weiſt nach daß Elektrizitätswerke mit Accumulatoren-Anlagen durchaus rentabel ſind.

Eine der größten Accumulatoren-Anlagen befindet ſich in dem Elektrizitätswerk zu Barmen. Es war die erſte Batterie, welche ſehr große Zellen (ſehr große Platten und eine große Anzahl Platten in einer Zelle) vereinigte. Man hatte noch keine Erfahrungen über die Behandlung ſo großer Zellen und war infolgedeſſen genötigt, eine neue Aufſtellung nach kurzer Zeit vorzunehmen.

Die Betriebsergebniſſe waren infolgedeſſen anfangs nicht günſtig In der Betriebsperiode vom 1. Januar bis 1. Dezember 1891 iſt jedoch ein Nutzeffekt von 70,2% erzielt worden. Die folgende Tabelle giebt über den Wirkungsgrad des Jahres 1891 genaue Auskunft.

*) Siehe „Entgegnung auf die Roß'ſche Schrift: „Wie ſollen wir unſere Elektrizitätswerke bauen? Ein offenes Wort an die Stadtverwaltungen". Hermann Riſel & Co., Hagen i. W.

Elektrizitätswerk Barmen.

Ökonomischer Wirkungsgrad im Betriebsjahre 1891.

Monat	Ladung in Volt-A.-Std.	Entladung in Volt-A.-Std.	Nutzeffekt in %
Januar	5 394 209	3 677 433	68,17
Februar	5 012 501	2 849 857	56,85
März	4 536 837	3 613 208	79,64
April	4 475 667	3 177 260	70,99
Mai	3 149 017	2 422 800	76,93
Juni	3 571 913	2 305 705	64,55
Juli	5 205 476	3 439 608	66,07
August	5 457 253	4 103 176	75,18
September	4 372 126	3 030 325	69,31
Oktober	4 902 614	3 399 034	69,31
November	5 391 691	3 925 040	72,79
Dezember	5 579 648	4 065 244	72,86
Sa.	57 048 952	40 008 690	70,22

Es wird ferner nachgewiesen, daß in keinem Elektrizitätswerk, welches Accumulatoren besitzt, bisher eine Betriebsstörung eingetreten ist. Im Gegenteil, die Accumulatoren sind stets bei Betriebsstörungen verwendet worden, um über kurze Unterbrechungen hinwegzukommen.

Elektrizitätswerk Dessau.

Ökonomischer Wirkungsgrad im Betriebsjahre 1891.

Monat	Ladung in Watt-Std.	Entladung in Watt-Std.
Januar	3 258 808	2 368 160
Februar	3 819 286	3 035 476
März	3 146 890	2 521 238
April	2 369 826	1 956 156
Mai	738 978	701 558
Juni	823 370	618 602
Juli	426 344	394 913
August	994 346	629 975
September	1 751 134	1 435 005
Oktober	3 008 246	2 466 157
November	3 093 460	2 394 797
Dezember	4 073 010	3 305 083
Sa.	27 503 698	21 827 120

Jahresdurchschnitt 79,37 %.

Digitized by Google

Der Nutzen einer Accumulatorenbatterie wird stets gleichbleibend gut und entsprechend hoch sein, wenn man nur bis zur Gasentwickelung ladet und die Kapazitätsgrenze beim Entladen nicht überschreitet. Der Nutzeffekt, welcher bei den verschiedenen Zentralstationen mit Accumulatoren erzielt wurde, findet sich in den nachstehenden Tabellen verzeichnet.

Elektrizitätswerk Hannover.

Ökonomischer Wirkungsgrad im Betriebsjahre 1891.

Monat	%
Juni	77,5
Juli	75,1
August	81,4
September	81,8
Oktober	79,0
November	77,2
Mittelwert	78,7

Wirkungsgrad in Amp.-Std. im Mittel 92,7%.

Kensington Court.

Monat	Ladung in Watt-Std.	Entladung in Watt-Std.	Nutzeffekt in Watt-Std.	Nutzeffekt in A.-Std.
Februar	10 480 000	8 654 000	83%	90%
April	9 470 000	8 082 000	85,5	92
Mai	9 720 000	8 442 000	86,6	93,5
Juli	6 345 000	5 485 000	86,5	93,5
September	7 628 800	6 525 000	85,5	92,5
Oktober	10 391 000	8 820 000	85	91,5
Summe	54 034 800	46 008 000		
		Mittel	85,3%	92,1%

Digitized by Google

Davies Station.

Monat	Ladung in Watt-Std.	Entladung in Watt-Std.	Nutzeffekt in Watt-Std.	Nutzeffekt in A.-Std.
8 Wochen 1. Okt. – 26. Nov.	321 800	261 200	81,1 %	89,8 %
10 Wochen 26. Nov. — 21. Jan.	354 800	295 300	83,3	91,7
18 Wochen 1. Okt. — 21. Jan.	676 600	556 500	82,25	90,8
13 Wochen 24. März — 25. Juni 91	361 900	308 200	85,11	93,28
Verluste	17 151	14 212		
		Wert	82,94 %	91,39 %

Der Nutzeffekt beträgt in:

Dessau	1890 —	78,9 %
„	1891 —	79,37 %
Barmen	1891 —	70,2 %
Hannover	1891 —	78,7 %
Kensington-Court	—	85,3 %
Davies Station	—	82,94 %.

Diese Zahlen sind den Betriebsjournalen entnommen und geben die Jahresdurchschnitte der Nutzeffekte an. Betriebsdaten aus anderen Centralen mit Accumulatoren konnten nicht ermittelt werden, weil keine genauen Messungen fortlaufend vorgenommen wurden, doch versichern die Betriebsleiter derselben, daß der Nutzeffekt keineswegs unter der Garantiegrenze liegt.

Die Verwendung von Accumulatoren für solche Elektrizitätswerke, welche weitab liegen, hat sich als durchaus vorteilhaft erwiesen.

Die Verkleinerung der Querschnitte der Primärleitungen wird dadurch möglich, daß während der Zeit des geringen Lichtbedarfs in den Accumulatorbatterien eine bedeutende elektrische Energie aufgespeichert werden kann, welche dann in der Hauptlichtperiode die Maschinenleistung unterstützt. Hieraus geht hervor, daß die Maschinen niemals den für die höchste Anzahl gleichzeitig brennender Lampen erforderlichen Strom zu liefern haben, sondern einen weitaus geringern Strom, und infolgedessen werden die Zuleitungen von der entfernt liegenden Maschinenstation nach den Accumulatoren-Unterstationen bei gleichem Druckverlust viel geringer ausfallen als bei direktem Betriebe.

Digitized by Google

Es sind z. B. 20000 gleichzeitig brennende Lampen bei $7^1/_2$ Km Entfernung der Maschinenstation mit Strom zu versorgen. Der von einem Elektrizitätswerke am höchst belasteten Tage abgegebene Konsum wird erfahrungsgemäß zu annähernd gleichen Teilen von Maschinen und Accumulatoren gedeckt. Wenn im Maximum 20000 Lampen zu 16 Kerzen und 55 Watt gleichzeitig 6 Stunden brennen, so beträgt die elektrische Leistung $20000 \times 55 \times 6 = 6600000$ Volt-A.-Std. Von dieser Leistung entfällt die Hälfte, also 3300000 V.-A.-Std. auf die Accumulatoren. Beim Nutzeffekt der Accumulatoren von 75 % in V.-A.-Std. müssen in dem Accumulator, welcher dieses Quantum abgeben soll,

$$\frac{3300000}{3} = 1100000 \text{ V.-A -Std.}$$

mehr hineingeladen werden, im ganzen also

$$3300000 + 1100000 = 4400000 \text{ V.-A.-Std.}$$

Die Rotations-Transformatoren sollen bei Vollbelastung mit 80 % Nutzeffekt arbeiten, es muß daher die Leistung der Maschinenstation bei 24stündigem Betriebe $4400000 + 880000 = 5280000$ V.-A.-Std., betragen auf eine Stunde entfallen somit 220000 V.-A.-Std. und bei einer Spannung von 2000 Volt werden die Fernleitungen von einer Stromstärke von

$$\frac{220000}{2000} = 110 \text{ Amp.}$$

durchflossen.

Es wird angenommen, daß die Primärmaschinen Wechselstrom liefern, welcher durch Rotations-Transformatoren in Gleichstrom umgesetzt wird, wie dies bei dem Elektrizitätswerke in Kassel stattfindet. Bei einem Spannungsverlust von 10 % in den Fernleitungen erhält man einen Querschnitt von

$$\frac{110 \times 15000}{58 \times 200} = 142 \text{ qmm}$$

(während bei direktem Wechselstrombetrieb der Querschnitt 711 qmm beträgt). Es wird innerhalb eines Jahres vielleicht einigemal der Umstand eintreten, daß die 20000 Lampen gleichzeitig brennen, und die Brenndauer wird auch dann nur wenige Stunden betragen, trotzdem müssen natürlich die Primärleitungen dementsprechend stark bemessen werden. Gleichstrom-Centralen mit Accumulatoren befinden sich unter anderm auch in Breslau, Kassel, Dessau, Düsseldorf, Hannover, Königsberg, Stettin ꝛc.

Eine der ältesten und interessantesten elektrischen Centralstationen ist das Elektrizitätswerk zu Dessau, über das von 1886—1889 Mitteilungen vorliegen. Die Motoranlage besteht lediglich aus 4 Gasmotoren von zusammen rund 160 P.S. und aus 4 Dynamomaschinen von zusammen 98000 Watt, welche mit 110 Volt Spannung arbeiten. Für die Ladung

Digitized by Google

des Accumulators ist eine besondere Dynamo mit 140 Volt aufgestellt, welche 45000 Watt Leistung hat, dieselbe wurde gegen eine mit 35000 Watt umgetauscht.

Es beträgt sonach zur Zeit die volle Leistung der Dynamos 108000 Watts.

Die Verteilung des Stromes geschieht durch Siemens'sche Blei-Kabel von 3451 m Doppelleitung.

Die Accumulatoren waren ursprünglich nur für 100 Lampen bemessen, wurden schnell zerstört und hatten nur einen Wirkungsgrad von 50 %, sie waren nach dem System der de Khotinski hergestellt. 1889 wurde eine größere Batterie nach Tudor-System von 1700 A.-Std. Kapazität aufgestellt, um 600 Lampen 5—6 Stunden mit Strom zu versorgen.

Die Aufstellung der Batterie vermehrte das gesamte Anlagekapital der Centrale um 50 % und erhöhte ihre Leistungsfähigkeit um ca. 38 %. Der ökonomische Wirkungsgrad der Batterie wurde durch zwei Aron'sche Watt-Messer festgestellt und betrug im Jahre 1890 durchschnittlich 78,9 %. Der Wirkungsgrad der älteren Batterie betrug 1887 40 %, 1889 52 %, während die neue Batterie 1889 78,87 % und 1890 schon 78,90 % ergab. Der prozentuale Jahresverlust bei der Anwendung von Accumulatoren hängt ab von dem Verhältnis, in welchem die Größe der Accumulatoren zur gesamten Maschinenleistung steht, und darf nicht auf die gesamte Jahres-Produktion bezogen werden. In Dessau wurde den Accumulatoren 1890 52 % des gesamten Jahresverbrauches entnommen, und für diesen Prozentsatz kommt der ökonomische Verlust mit ca. 21 % in Betracht, so daß der Verlust durch die Accumulatoren nur 10—11 % vom Jahresverbrauch ausmacht. Die Vorteile der Accumulatoren haben sich auch hier bestätigt:

Die plötzlichen Licht- und Spannungs-Schwankungen, infolge der Änderung des Stromverbrauchs — die gerade bei kleinen und mittleren Anlagen bei der geringen Gesamtheit der brennenden Lampen viel stärker und plötzlicher auftreten, als bei großen Anlagen — ebenso die kleinen Schwankungen des Maschinenbetriebes fallen gänzlich fort.

Bei plötzlichem Stocken des Maschinen-Betriebes kann ein Teil des Stromverbrauches aus einem Accumulator längere Zeit gedeckt werden, und durch die günstigere Belastung der Motoren verminderten sich die Betriebskosten, und zwar:

Gasverbrauch 1888: 920 l, 1890: 750 l auf eine Pferdekraftstunde,

Kühlwasserverbrauch 62,6 l, 1890: 23,7 l,

Ölverbrauch 19,9 gr., 1890: 9,8 gr.

Die beiden letzteren Posten verminderten sich deshalb so sehr wesent-

Digitized by Google

lich, weil die Betriebsstundenzahl der Motoren durch die stets volle Belastung wesentlich geringer wurde.

Das Betriebspersonal besteht aus: dem leitenden Ingenieur, einem Gehilfen, zwei Maschinisten, einem Monteur und einem Arbeiter.

Trotz erheblicher Abschreibungen steigerte sich das Anlagekapital von 219,952 M. am 31. Dezember 1886 auf 240,661 M. am 31. Dezember 1890, es betrug somit bei 3689 installierten Lampen das Anlagekapital 65 M. per Lampe. Von der Gesamtlampenzahl hat aber nur ein ganz ausnahmsweise geringer Prozentsatz gleichzeitig gebrannt, nämlich 60%.

Nachdem man inzwischen 100pferdige Gasmotoren konstruiert und weitere Fortschritte gemacht hat, würde sich das Anlagekapital bedeutend geringer gestalten. Die Abschreibungen wurden folgendermaßen festgesetzt: Gebäude 1%, Motoren und Dynamos 12,5%, Accumulatoren 10,0%, Kabel, Gas- und Wasserleitungen 3,0%.

Übersicht einiger Betriebsverhältnisse.

	1886 (3 Monate)	1887	1888	1889	1890
1. Zahl der installierten Lampen:					
a) Glühlampen verschiedener Größe	1 014	2 027	2 064	3 094	3 194
b) Bogenlampen	4	27	48	56	59
a und b auf 16-kerzige Glühlampen reduziert	1 076	2 400	2 544	3 565	3 689
2. Stromverkauf in A.-Std. . . .	62 827	195 547	243 670	333 380	36 135
3. Jahresverbrauch an Gas cbm	27 754	54 189	60 020	68 733	67 099
4. Eine Pferdekraftstunde verbrauchte im Jahresdurchschnitt an Gas l	—	953	920,6	800	750
an Wasser (inkl. Kühlung der Lager der Dynamos) . . . l	—	—	62,6	33,7	23,7
an Schmiermaterial . . . . g	—	43,6	19,9	13,5	9,8
5. Eine Glühlampenstunde v. 16 N.K. à 55 Watt verbrauchte an Gas (inkl. sämtlicher Verluste der Production und elektrischen Verteilung) l	—	152,4	131,37	113,39	100,52

Die beste ökonomische Leistung der Gasmotoren war bisher die, daß zur Ladung der Accumulatoren für 1 Glühlampenstunde von 55 Volt-Amp. 68 l Gas gebraucht wurden, während nach der vorstehenden Tabelle, einschließlich der Verluste in den Accumulatoren und dem Verteilungsnetz im Jahresdurchschnitt für eine Lampenbrennstunde 100,52 l erforderlich waren. Da jedoch die erste Zahl nicht den Jahresdurchschnitt darstellt, so lassen sich beide Zahlen nicht vergleichen.

Digitized by Google

Die durchschnittliche Brennstundenzahl sämtlicher installierten Lampen ist sehr gering, da im großherzoglichen Schlosse ein großer Teil der Lampen nur sehr selten brennt. Sie beträgt 181 Brennstunden, bei den Privatanlagen jedoch 264 Brennstunden im Jahre. Die Brennstundenzahl ist hier in der Weise ermittelt, daß der gesamte Jahreskonsum in Ampèrestunden durch den stündlichen Konsum sämtlicher installierter Lampen, bezw. derjenigen bei Privatanlagen dividiert wird. Die durchschnittliche Brennstundenzahl der Gasflammen beträgt, in derselben Weise ermittelt, in Dessau 437—524 Lampen-Stunden, je nachdem man eine Gasflamme von 16 Kerzen zu 180 oder 150 l pro Stunde rechnet. Daß die Ziffern beim Gas höher sind als beim elektrischen Licht, erklärt sich daraus, daß beides nebeneinander im Gebrauch steht, und viele aus Ersparungsrücksichten in den späten Abendstunden nur Gas brennen oder das letztere benützen, um die in der kühlen Jahreszeit mangelnde Wärme zu ersetzen. Diese geringe durchschnittliche jährliche Brennstundenzahl der Lampen, welche indessen für eine ganze Reihe kleinerer und mittlerer Städte bei elektrischem Licht sich nicht viel höher stellen wird, trägt die Hauptschuld an den bisherigen schlechten finanziellen Ergebnissen der Dessauer Anlagen. Die Brennstundenzahl ist aber einer der Hauptfaktoren für die Rentabilität, so daß unter Annahme einer hohen Brennstundenzahl sich auch entsprechend höhere Rentabilität herausrechnen läßt.*)

Nachdem die Einführung der Accumulatoren als vollständig bewährt für Dessau gelten konnte, wurde die Maschinenanlage den heutigen Verhältnissen entsprechend, umgebaut, und zwar deshalb, weil man früher entsprechend dem wechselnden Konsum größere oder kleinere Motoren im Betriebe hatte, während man jetzt viel vorteilhafter den geringeren Konsum entweder ganz aus den Accumulatoren entnimmt, ohne daß ein Motor im Betriebe ist, oder indem man sie benützt, um einen der großen Motoren voll zu belasten. Trotz des Verlustes in den Accumulatoren von ca. 21% arbeiten die großen Motoren parallel mit den Accumulatoren vorteilhafter, als kleine Motoren direkt in das Kabelnetz arbeiten würden, und zwar deshalb, weil die großen Motoren an sich schon 26—30% weniger Gas per effekt. P.S. gebrauchen als kleine, und dieselben wegen der Parallel-Schaltungen mit den Accumulatoren stets voll belastet laufen, während die kleineren Motoren trotz der Abstufungen in ihrer Größe nur selten bei direktem Betriebe voll ausgenutzt werden können.

*) Bei der Dessauer Kontinental-Gasgesellschaft beträgt der Gesamtdurchschnitt für sämtliche installierte Lampen von 12 Gasanstalten 506 Brennstunden pro Jahr (als Minimum in der einen Stadt 341, Maximum 580 Brennstunden in der andern).

Digitized by Google

Die Größe der Motoren und ihre stets volle Belastung ersetzen also nicht nur den Energie-Verlust bei den Accumulatoren, sondern sie vergrößern die Betriebsökonomie nach verschiedenen Richtungen und führen noch andere Vorteile herbei.

Wie wichtig die stets volle Belastung der Motoren ist, und zwar für Dampf- wie für Gasmotoren, wird sich bei elektrischem Betriebe viel mehr ergeben, als bei gewöhnlichem Fabrikbetriebe, da man bei letzterem die wechselnde Belastung weniger kontrollieren kann, um den jeweiligen Brennstoffverbrauch zu vergleichen, während in den Elektrizitätswerken genaue elektrische Meßinstrumente jeden Augenblick über die Beanspruchung der im Betriebe befindlichen Maschinen Aufschluß geben.

Während man früher nur Gasmotoren mit höchstens 60 P.S. Leistung hatte, baut man heute Zwillingsmotoren bis zu 140 P.S. Hierdurch erspart man den Raum, braucht weniger Gas per P.S., weniger Wasser, Schmiermaterial und Bedienung. Die Herren Gebr. Körting, Hannover, bauen neuerdings auch Gasmaschinen mit einem Cylinder, auf deren Welle die Dynamomaschine gleich gekuppelt ist, ohne daß Schwankungen im Betriebe wahrzunehmen sind.

Als Antriebsmotor für die großen Gasmotoren benutzt man in Dessau den in den Accumulatoren vorhandenen Strom, indem man einen leicht regulierbaren Flüssigkeitswiderstand parallel zum Ankerstromkreis schaltet. Es ist dadurch möglich, durch den Accumulatorenstrom und die Dynamos die Gasmotoren in ihrer normalen Umdrehungsrichtung anzutreiben und so den Antriebsmotor und das Antriebsvorgelege zu ersparen. Infolgedessen stellt man jetzt einen Deutzer Gasmotor von 120 P.S. auch direkt gekuppelt mit einer Rad-Anker-Dynamo, System Fritsche, von 84 000 Watt Leistung. Die Accumulatoren-Batterie wird bei Tage durch den 60 P.S. Motor geladen, während der 120 P.S. gleichzeitig Accumulatoren und Kabel mit Strom versorgt, so daß an Stelle von 3 oder 4 Motoren, wie früher, heute nur ein oder zwei in Betrieb kommen.

Ergebnisse aus dem fünfjährigen Betriebe der Dessauer Centrale.

Der Gasmotorenbetrieb hat sich nach jeder Richtung hin vorteilhaft erwiesen und ist unter der Voraussetzung, daß das Gas nicht gekauft werden muß, sondern Gas- und elektrische Anlagen sich in einer Hand befinden, für mittelgroße und kleine Städte in vielen Fällen zu empfehlen.

Die Vorteile, welche solche Centralen bieten, sind:

1. geringer Raumbedarf, mithin kleines Grundstück;

Digitized by Google

2. geringer Wasserbedarf: 23—24 l die P.S. oder noch weniger bei bessern Kühlanlagen;
3. unabhängig vom Transport der Kohlen;
4. keine Rauchbelästigung;
5. keine Explosionsgefahr;
6. geringere Anlagekosten als bei gleich großen Dampfmaschinen-Anlagen; weil das Grundstück wesentlich kleiner, das Kabelnetz wesentlich billiger wird, sofern man mitten in der Stadt im Schwerpunkt des Strombedarfs eher ein Grundstück für Gasmotoren als für Dampfmotoren finden und benutzen kann; und weil die Kosten der Gasmotor-Anlagen über 100 P.S. wesentlich billiger werden, als die gleich großer Dampfmaschinen-Anlagen inkl. Reservekessel, Kesselhaus und Schornstein 2c.
7. geringer Spannungsverlust im Leitungsnetz infolge günstiger Lage der Centrale;
8. kleines Betriebs-Personal;
9. leichte und genaue Kontrolle des Gasverbrauchs für jede einzelne Maschine durch eine Gasuhr;
10. sicherer und bequemerer Betrieb für Anlagen mittlerer Größe, wo die Schwankungen im Gesamtverbrauch oft plötzlich bei nur kurzer Betriebszeit auftreten. Auch lassen sich die Gasmaschinen viel schneller als Dampfkessel in Betrieb setzen.

Die Selbstkosten werden so berechnet, wie sie sich thatsächlich stellen, und dürfen nicht mit Faktoren belastet werden, welche lediglich für die Aufspeicherung, Verteilung und den Absatz für Leuchtgas in der Stadt in Frage kommen.

Denn wenn eine Gasanstalt ein neues Quantum Gas an einen einzigen großen Konsumenten, also hier die Centrale, abgiebt, so erhöhen sich dadurch die allgemeinen Verwaltungskosten gar nicht und es kommen nur die bei der Produktion des Gases verausgabten Löhne, Reparaturen, Erneuerungen, also die eigentlichen Fabrikationskosten im engeren Sinne in Betracht.

Befindet sich das Elektrizitätswerk auf der Gasanstalt selbst, so scheidet auch die Verzinsung des Anlagekapitals der Gasanstalt das Straßenrohrnetz aus, oder es kann nur mit dem Mehrkapital in Berechnung gestellt werden, welches die elektrische Anlage thatsächlich veranlaßt. Auch der Wert der Gasbehälter darf hier nicht in Anrechnung kommen, da die Accumulatoren bei Tage geladen werden, oder durch einen Betrieb von 20 Stunden in der Maximalkonsumzeit die Entnahme von Gas aus der Anstalt keine Mehrkosten in der Gasbehälteranlage verursacht werden.

Digitized by Google

Mithin bleiben von den Selbstkosten des Gases für die elektrische Centrale nur noch übrig: außer einer wesentlichen geringeren Zinsbelastung in den meisten Fällen die Kosten des Roh- und Feuerungsmaterials, abzüglich der Nebenprodukte, sowie die eigentlichen Fabrikationskosten inkl. Reparaturen und Erneuerungen.

Nächst dem Vergleich der Betriebskosten von Gas- und Dampf-Anlagen kommen aber auch die Anlagekosten der Centralen mit ihrer Verzinsung ganz wesentlich in Betracht. Die drei Hauptgründe, welche ein geringeres Anlagekapital für Gasmotor-Centralen ermöglichen, sind oben schon angegeben worden. Es muß jedoch hervor gehoben werden, daß sich neuerdings das Verhältnis der Kosten einer Betriebsanlage mit Gasmotoren im Vergleich zu einer solchen mit Dampfmaschinen ganz wesentlich zu Gunsten der Gasmotoren gestaltet hat. Während bisher die Anlagekosten der größten Gasmotoren stets ungefähr gleich waren denen gleichstarker Dampfmaschinen, so beträgt zur Zeit die Ausgabe für einen 120pferdigen Gasmotor inkl. Aufstellung nur ca. die Hälfte wie bei einer Dampfmaschinen-Anlage mit Reservekessel, Kesselgebäude und Schornstein.

Ein zweicylindriger 120pferdiger Gasmotor kostet heute nicht mehr wie ein 60pferdiger Motor im Jahre 1886. Für 10000 installierter Lampen, von denen 7500 gleichzeitig brennen können, würde man heute 4 Gasmotoren zu je 120 P. S. und 2 Accumulatoren-Batterien für je 120 P.S. gebrauchen. (Letztere in zwei oberen Etagen im Maschinenhause untergebracht.)

Das Laden der Accumulatoren mit zwei Maschinen wird man im Winter des Morgens um 8 Uhr beginnen und mit einer Arbeitsschicht bei $2^1/_2$stündiger Mittagspause bis Abends 10 Uhr durchführen.

Der Raumbedarf für die ganze Gebäudeanlage mit Bureau, Werkstatt und Maschinen würde etwa 370 qm betragen.

Da die Ausnutzung des Heizwertes unserer Steinkohlen bei Dampfmaschinen nur 8—11%, bei Gasmotoren jedoch 16,5—21% beträgt, so ist es am vorteilhaftesten, Gas und Elektrizität bei Gaswerken zu vereinigen.

Das Güteverhältnis von Anlagen mit Gleichstromleitungen und Accumulatoren.

Bei Anlagen mit verteilten Gasmotorstationen wobei für die Hauptleitungen und das Netz ein Gesamtverlust von 10% bei maximaler Belastung nicht überschritten wird, ist der Wirkungsgrad für die gleich belastet arbeitenden Dynamos 90%, das Güteverhältnis zwischen der abgegebenen Energiemenge und der von den Maschinen erzeugten, wobei in

Digitized by Google

24 Stunden höchstens die Hälfte dieses erzeugten Stromes aufgespeichert wird, 87,5%, die andere Hälfte des erzeugten Stromes fließt direkt von den Maschinen in das Leitungsnetz ab. Rechnet man den Verlust für Speiseleitung und Netz durchschnittlich auf 2%, ihren Wirkungsgrad also auf 98% (der mittlere Verlust im Jahresdurchschnitt beträgt nach vielfach angestellten Ermittelungen den fünften Teil des maximalen Verlustes), so beträgt das gesamte Güteverhältnis einer solchen Anlage

$$0{,}9 \times 0{,}875 \times 0{,}98 = 77{,}2\%.$$

Bei einer Anlage mit nur einer Centralstation in der Stadt und einem mit ihr verbundenen einheitlichen Leitungsnetz mit einem Verlust von 20% in den Hauptleitungen stellt sich das gesamte Güteverhältnis auf 74,7%.

Wirkungsgrad der Dynamos 90%, Accumulatoren 87,5%, Speiseleitungen 96% (1/5 von 20%) Netz 99%, bei einer außerhalb der Stadt gelegenen Centralstation mit verteilten Accumulatorenstationen innerhalb der Stadt mit einem maximalen Spannungsverlust von 25% in der Primärleitung und von 20% in den Hauptleitungen ist das Güteverhältnis der Anlage 68,85%, nämlich: Wirkungsgrad der Dynamos 90%, der Accumulatoren 87,5%, Primärleitungen 92% (unter der Annahme, daß der Verlust im mittleren Jahresdurchschnitt sich auf 1/3 des maximalen Jahresdurchschnittes rechnet. Speiseleitungen 96%, Leitungsnetz 99%.

Bei einer außerhalb der Stadt gelegenen Betriebsstation mit Wechselstrom von 2000 Volt Spannung und in der Stadt verteilten Accumulatorenstationen mit Rotations-Transformatoren, wobei im Maximum 12% Verlust in der Wechselstrom-Primärleitung und ein Güteverhältnis von 82% der Rotations-Transformatoren vorausgesetzt ist, hat man: Wirkungsgrad der Dynamos 90%, Rotations-Transformatoren 82%, Accumulatoren 87,5%, Primärleitungen 96% (1/3 von 12%), Speiseleitungen von 96% (1/5 von 20%), Leitungsnetz 99% und daraus das Gesamt-Güteverhältnis der Anlage: $0{,}9 \times 0{,}82 \times 0{,}875 \times 0{,}96 \times 0{,}96 \times 0{,}99 = 58{,}9\%$.

Bei einer Betriebsstation für ein weit ausgedehntes Beleuchtungsgebiet und zweimalige Transformation auf sehr hohe Spannung herauf und wieder herunter, wobei ein Güteverhältnis der gleichbelasteten Transformatoren von 96% angenommen ist, hat man: Wirkungsgrad der Dynamos 90%, Rotations-Transformatoren 82%, des 1. Transformators 96%, des 2. Transformators 96%, Accumulatoren 87,5%, Primärleitungen 96% (1/3 von 12%), Speiseleitungen 96% (1/5 von 20%), Leitungsnetz 99%. Hieraus ergiebt sich ein Gesamt-Güteverhältnis der Anlage von $0{,}9 \times 0{,}82 \times 0{,}96 \times 0{,}96 \times 0{,}99 = 54{,}2\%$.

Digitized by Google

Das Güteverhältnis von Anlagen mit Wechselstrom stellt sich bei 2000 Volt Primärspannung und kleinem Verteilungsnetz nach analoger Berechnung auf 34,83% und bei zweimaliger Transformierung für hohe Primärspannung auf 31,3%. Der Vergleich der Offerten für die Beleuchtung von Budapest zeigt auch, daß der Wechselstrom kein so ungünstiges Ergebnis liefert, als man bisher allgemein angenommen hat.

Was nun den Wert einer Accumulatoren-Batterie in Bezug auf die Betriebskosten-Anlagen betrifft, so liegt derselbe nicht darin, daß die Anlagekosten für die Abgabe einer P. S. geringer sind, als bei dem direkten Betriebe, sondern daß die Möglichkeit der Gleichbelastung der Dynamomaschinen vorhanden ist und die Betriebskosten reduziert werden. Bei der Düsseldorfer Anlage ist der Preis für Dampf- und Dynamomaschinen, Kessel, elektrische Apparate und bauliche Herstellungen in der Stammanlage mit 530 000 M. veranschlagt worden. Da nun die drei in der Maschinenstation aufgestellten Dampfmaschinen normal 900 P. S. leisten können und der Nutzeffekt der Dynamomaschinen 90% beträgt, so stellen sich die Anlagekosten für jede aus dem Elektrizitätswerke ins Leitungsnetz abgegebenen P. S. auf $\frac{530\,000}{0{,}9 \times 900} = 655$ M.

Die Anlagekosten für die Accumulatoren, welche zunächst nur zur Aufstellung gelangen sollen, und für die baulichen Herstellungen in den Unterstationen betragen nach dem Projekt $2 \times 130\,000$ M. Die Spannung der Batterie ist mit 260 Volt vorgesehen, mit einem maximalen Entladestrom von $\frac{1232 \times 206}{736}$ 435 elektrische P. S. Aus den angegebenen Anlagekosten und der Leistung der Accumulatoren ergiebt sich folglich, daß die Kosten einer von den Accumulatoren abgegebenen P. S betragen: $\frac{230\,000}{435} = 529$ M.

Vergleicht man die Anlagekosten der Maschinenstation mit denen der Accumulatoren, so findet man, daß die letzteren, auf gleiche Leistung reduziert, um 20% pro elektrische P. S. geringer sind, als bei direkter Stromabgabe.

Hier mag auch noch ein sehr wichtiger Punkt Erwähnung finden, nämlich der, daß die Kapazitäten in A.-Std. einer Accumulatoren-Batterie bei schwankendem Verbrauch sich steigert, so daß, wie in dem vorliegenden Falle bei voller Entladung nur 3,3 Stunden Strom geliefert werden können, in Wirklichkeit doch eine 5stündige Entladung zufolge obiger Umstände erzielt wird. Es schwankt aber bekanntermaßen in einem Elektrizitätswerk der Verbrauch außerordentlich, und nur für ganz kurze Zeit müssen die Accumulatoren ihren höchsten Entladestrom abgeben, während in der

Digitized by Google

übrigen Zeit weit geringere Strommengen entnommen werden. Nach Vollendung des Elektrizitätswerkes werden die Accumulatoren der Düsseldorfer Centrale eine Kapazität von 13 290 A.-Std. bei einem maximalen Entladestrom von 3980 A. haben. Hieraus würde sich bei konstantem Entladestrom ebenfalls nur eine Betriebszeit von 3,3 Stunden ergeben. Trotzdem aber reicht die Kapazität vollkommen für den Konsum am höchst belasteten Tage aus.

Die Berechnung der Größe der Dynamos und Accumulatoren für das Elektrizitätswerk zu Düsseldorf.

Der Berechnung ist die Kurve des Gesamtgasverbrauchs am höchst belasteten Tage zu Grunde gelegt und im übrigen das Verfahren aus der E. T. Z. vom 23. Dezember 1890 eingeschlagen.

In Düsseldorf brennen am höchst belasteten Tage gleichzeitig 20 000 Lampen von 16 Normalkerzen. Es ist Dreileitersystem angewendet; die Lampenspannung beträgt 110 Volt, mithin beträgt der Maximal-Gebrauch im Leitungsnetz 5000 A. Die nachfolgende Rechnung ist nur für die eine Hälfte des Dreileitersystem durchgeführt und ein mittlerer Spannungsverlust von 15 Volt in jedem Außenleiter bei 5000 A. angenommen. Die Verluste in den Fernleitungen sind vorläufig nicht berücksichtigt; es ist ferner ein 22stündiger Maschinenbetrieb vorgesehen. Bezeichnet man mit D die Volt-Amp.-Std., welche von Maschinen und Accumulatoren in die Außenleitung zu liefernde Energiemenge, F die Volt-Amp.-Std., welche die Accumulatoren in die Außenleitung abzugeben haben, G die Leistung der Maschine in 22 Stunden nach V.-A., unter Zurechnung des Verlustes in den Accumulatoren, h die G entsprechende Maschinenleistung in V.-A. Ist ferner das Güteverhältnis der Accumulatoren in V.-A. gleich 75%, so müssen $\frac{100}{F} F = 1\frac{1}{3} F$ in die Accumulatoren hineingeleitet werden, wenn die letzteren das Quantum F in den Außenleiter abgeben sollen. Es geht mithin $\frac{1}{3}$ F durch die Accumulatorenfläche und wir haben dann $G = D + \frac{F}{3}$. Bei den in der Fig. 64 dargestellten Kurven sind die Maßstäbe derart gewählt, daß 1 mm = 52 Accumulatoren = 5000 Volt-Amp.; 5 mm = 1 Stunde; 1 qmm = 10,4 Amp.-Std. = 1000 Volt-Amp.-Std. Tritt in dem Accumulator kein Verlust ein, so muß G = D sein, und wir finden aus der Volt-Amp.-Std.-Fläche durch Division mit 22 (Dauer des Maschinenbetriebes) die stündliche Leistung h der Maschinen unter der Annahme, daß dieselben während der ganzen Dauer des Betriebes gleichmäßig belastet sind. Der auf diese Weise ermittelte Wert für die

Digitized by Google

ſtündliche Leiſtung der Maſchinen iſt zu klein, weil der thatſächlich auftretende Verluſt in den Accumulatoren nicht in Rückſicht gezogen iſt. Tragen wir dieſe Maſchinenleiſtung auf und meſſen die Fläche, welche die

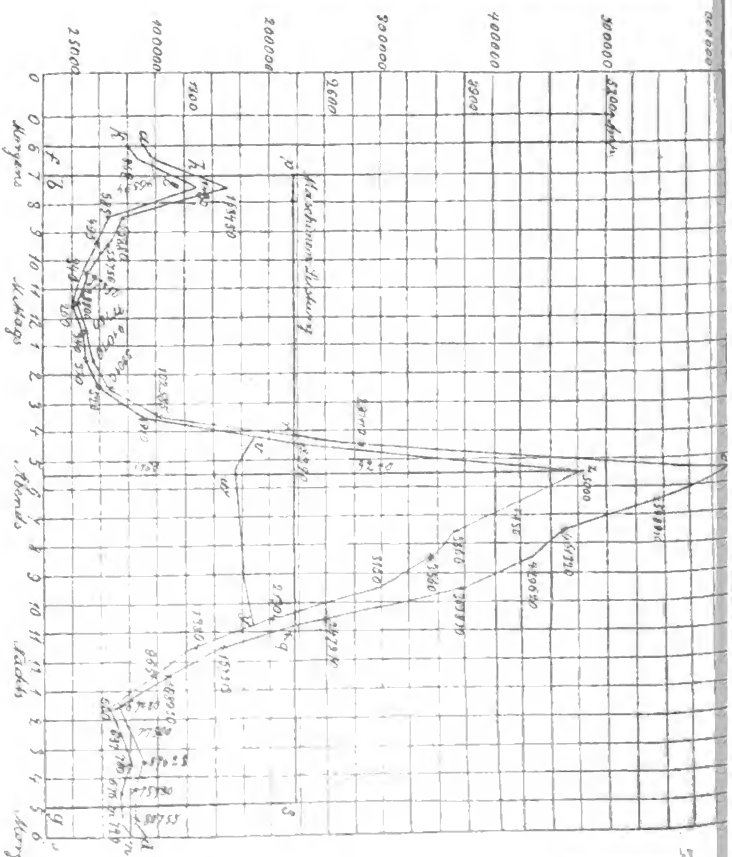


Fig. 61.

Accumulatorenleiſtung darſtellen, aus, ſo finden wir unter Berückſichtigung der Gleichung $G = D + \frac{F}{3}$ einen neuen Wert für die ſtündliche Maſchinen-

leistung; setzen wir dieses Verfahren fort und führen ein Näherungsverfahren in die Rechnung ein, so erhalten wir schließlich das Resultat, daß die Maschinenleistung innerhalb der 22stündigen Betriebszeit durch das Rechteck (b p s g) dargestellt wird. Fig. 64.

Führen wir diese Berechnung durch, so finden wir durch Ausmessen der Flächen (a h b f), (r c q) und (i d e g), welche die Leistung des Accumulators darstellen, die folgenden Werte: (a h b f) = 102 500; (r c q) = 1 387 500; (i d e g) = 88 750 V.-A.-Std. Die Gesamtleistung des Accumulators beträgt somit:

$$F = 1\,387\,500 + 102\,500 + 88\,750 = 1\,578\,750 \text{ V.-A.-Std.}$$

Die Flächen (h p r) und (q s i) stellen zusammen diejenige Anzahl von V.-A.-Std. dar, welche der Accumulator als Ladung erhält. Da die Ausmessung derselben 1 377 500 resp. 741 250 V.-A.-Std. ergiebt, so werden im ganzen 1 377 500 + 741 250 = 2 118 750 V.-A.-Std. zur Ladung des Accumulators aufgewendet, von welchen 75% die Leistung des Accumulators bei Entladung darstellen sollen. Rechnen wir dies aus, so finden wir eine Leistung von $\frac{2\,118\,750}{100} \times 75 = 1\,589\,062$ Volt-A.-Std., während thatsächlich nur 1 578 750 gebraucht werden. Hieraus ergiebt sich eine Differenz von 10 312 V.-A.-Std., welche der Accumulator mehr zu leisten vermag. Da diese Differenz jedoch nur 0,65% der verlangten Leistung des Accumulators beträgt, so ist hiermit die Maschinenleistung hinreichend genau bestimmt. Die Fläche (b p s g) stellt die gesammte Maschinenleistung innerhalb 22 Stunden dar, bezogen auf die eine Hälfte des Dreileitersystems und ohne Berücksichtigung der Verluste in den Fernleitungen. Durch Ausmessung dieser Fläche ergiebt sich, daß durch sie 4 840 000 V.-A.-Std. dargestellt werden. Bei dieser Maschinenleistung ist der Verlust in den Accumulatoren eingeschlossen und haben somit bei 22stündigem Betriebe die Maschinen pro Stunde $\frac{4\,840\,000}{22} = 220\,000$ V.-A. zu leisten. Aus der oben angegebenen Beziehung findet sich für die gesamten, von Maschinen und Accumulatoren in die Außenleitung abzugebenden Volt-Amp.-Std. D der Wert: $D = G - \frac{F}{3}$ oder, wenn wir die ermittelten Zahlen einsetzen:

$$D = 4\,840\,000 - \frac{1\,578\,750}{3} = 4\,313\,750 \text{ V.-A.-Std.}$$

Subtrahieren wir von dem Gesamtwerte G der Maschinenleistung die Summe der durch die beiden Flächen (h p r) und (q s i) dargestellten und zur Ladung des Accumulators aufgewandten V.-A.-Std., so erhalten wir diejenige Anzahl V.-A.-Std., welche die Maschinen während ihres

Digitized by Google

22stündigen Betriebes direkt in das Leitungsnetz abgeben. Unter Benutzung der gefundenen Werte wir erhalten einen Betrag von

$$4\,840\,000 - 2\,118\,750 = 2\,721\,250 \text{ V.-A.-Std.}$$

Somit beträgt das Güteverhältnis der an den Klemmen der Maschinen abgegebenen V.-A.-Std. zu den an den Klemmen der Außenleitung abgegebenen

$$\frac{4\,313\,750 \times 100}{4\,840\,000} = 89{,}5\,\%.$$

Es lassen sich nun mit Hilfe der A.-Std.-Kurve die von den Maschinen während des Parallelbetriebes mit den Accumulatoren in die Außenleitung gelieferten Stromstärken für jeden einzelnen Punkt berechnen, da wir unserer ganzen Rechnung die Annahme zu Grunde gelegt haben, daß die Maschinen während ihrer ganzen Betriebsdauer gleich belastet arbeiten. Die Lampenspannung beträgt 110 V. und bei 5000 A. maximaler Belastung des Netzes sollen in jedem Außenleiter des Dreileitersystems 15 V. Verlust auftreten, so daß die Spannung zwischen jedem Außen- und dem Mittelleiter 110 + 15 = 125 V. im Maximum betragen muß. Da nun die Maschinen konstant mit 220 000 V.-A. arbeiten und nach der Verbrauchskurve um $5\frac{1}{2}$ Uhr abends die höchste Belastung des Netzes mit 5000 A. vorliegt, so werden zu dieser Zeit die Maschinen einen Strom von $\frac{220\,000}{125} =$ 1760 A. zu leisten haben. Um $4\frac{1}{2}$ Uhr abends werden im Leitungsnetze 2390 A. verbraucht und beträgt bei dieser Belastung der Spannungsverlust in jedem Außenleiter nur noch 7,2 V., so daß zwischen jedem Außenleiter und dem Mittelleiter eine Spannungsdifferenz von 117,2 V. vorhanden sein muß. Die Maschinen senden dann einen Strom von $\frac{220\,000}{117{,}2} = 1877$ A. in das Leitungsnetz. Auf diese Weise lassen sich für alle Punkte während der Dauer des Parallelbetriebes von Maschinen und Accumulator die entsprechenden Maschinenstromstärken ermitteln. Trägt man dieselben in richtigem Maßstabe in die Figur ein, so ergiebt sich die Kurve (v w y).

Da um $5\frac{1}{2}$ Uhr abends der maximale Stromverbrauch von 5000 A. vorliegt und die Maschinen zu dieser Zeit nur 1760 A. liefern, so muß der Accumulator die Differenz von 5000 — 1760 = 3240 A. zu decken vermögen. Die durch die Gerade (z w) dargestellten 3240 A. stellen mithin den maximalen Entladestrom des Accumulators dar. Um die erforderliche Kapazität der Batterie zu bestimmen, müssen die Inhalte der Flächen (f k l b), (v w y z) und (e g m n) ausgerechnet werden. Die Ausmessung ergiebt, daß durch diese Flächen 997, resp. 11297, resp. 715 A.-Std. dargestellt werden, mithin muß die Batterie eine Kapazität von 997 +

$11297 + 715 = 13009$ A.-Std. bei einem höchst zulässigen Entladestrom von 3240 A. besitzen. Da nun die Batterien des fertig ausgebauten Düsseldorfer Elektrizitätswerkes eine Kapazität von 13280 A.-Std. besitzen und mit einem höchsten Entladestrom von 3980 A. beansprucht werden dürfen, so sind sie jedenfalls nicht zu klein gewählt und genügen den an sie gestellten Anforderungen vollständig. Wie aus der Kurve des Stromverbrauchs hervorgeht, haben die Maschinen in den Punkten v und y ihre maximale Stromstärke abzugeben, und zwar beträgt dieselbe 1924 A. Die Querschnitte der Fernleitungen von der Maschinenstation nach den Accumulatoren-Unterstationen sind 2×726 qmm für die Leitung I und 2×377 qmm für die Leitung II. Da die Entfernungen zwischen Maschinenstation und Unterstationen 5150 resp. 6600 m betragen, so ergiebt sich, wenn die Leitungsfähigkeit des Kupfers zu 58 angenommen wird, ein Widerstand von $\frac{5150}{58 \times 2 \times 726} = 0{,}061$ Ohm für die Leitung I und von $\frac{6600}{58 \times 2 \times 377} = 0{,}151$ Ohm für die Leitung II. Da ferner die Verteilung des von der Maschinenstation gelieferten Stromes auf die beiden Fernleitungen in der Weise erfolgen soll, daß in beiden Leitungen der gleiche Spannungsverlust eintritt, so entfallen $\frac{0{,}061}{0{,}061 + 0{,}151} = 28{,}8\,\%$ auf die Leitung II und $71{,}2\,\%$ auf die Leitung I. An der Hand der Stromverbrauchskurve hatten wir gefunden, daß die Maschinenstation im Maximum einen Strom von 1924 A. abzugeben hat, welche sich zu 1370 A. auf die Leitung I und 554 A. auf Leitung II verteilen. Diesen resp. Stromstärken in den Fernleitungen entspricht ein Spannungsverlust von

$$1370 \times 0{,}061 = 554 \times 0{,}151 = 83{,}6 \text{ Volt}$$

und in den Verbrauchsleitungen ergiebt sich bei einer Belastung mit 1924 A. ein Spannungsverlust von 5,8 Volt für jeden Außenleiter oder 11,6 Volt für beide Außenleiter. Die Maschinen haben somit mit einer Spannung von

$$220 + 11{,}6 + 83{,}6 = 315{,}2 \text{ Volt}$$

zu arbeiten, resp. eine Leistung von

$$315{,}2 \times 1924 = 606445 \text{ V.-A.}$$

abzugeben. Bei einem garantierten Nutzeffekt von $90\,\%$ der Dynamomaschinen sind folglich in der Maschinenstation $\frac{606445}{0{,}9 \times 736} = 915$ Pferdekräfte erforderlich. Da nun in dem Düsseldorfer Elektrizitätswerke, wenn es vollständig ausgebaut ist, drei Dampfmaschinen von je 300 Pferdekräften normaler Leistung vorhanden sind, so wird in diesem eben durchgerechneten Falle jede Dampfmaschine mit $1{,}7\,\%$ über die normale Leistung beansprucht. Eine derartige, wenn auch geringe, Mehrbelastung ist aber absolut nicht erforderlich, weil die Accumulatoren an Stelle des sich aus der Gaskurve

Digitized by Google

ergebenden maximalen Entladestromes von 3240 A. für einen solchen von 3980 A. vorgesehen sind. Die über die normale Leistung hinausgehende Mehrbelastung der Dampfmaschinen kann daher durch die Accumulatoren gedeckt werden, so daß thatsächlich eine Überlastung der Maschinen über die normale Leistung nicht stattfindet. Aus der Gaskurve vom 23. Dezember 1890 hatten wir eine maximale Brenndauer der gleichzeitig brennenden Lampen von 7,3 Std. gefunden, wobei jedoch der Gasverbrauch für die öffentliche Beleuchtung ꝛc. mit eingerechnet ist. Hätten wir die für genannte Zwecke aufgewendeten Gasmengen von der Gesamtabgabe abgezogen, so würde sich eine weit kleinere Zahl (6 Std.) für die maximale Brenndauer der gleichzeitig brennenden Lampen ergeben haben. Wir wollen zunächst die Rechnung mit der 7,3stündigen Brenndauer nach der von Herrn Roß angegebenen Methode durchführen, jedoch an Stelle der von Herrn Roß angenommenen Spannungsdifferenz von 20% bei Ladung und Entladung der Accumulatoren nur eine solche von 16% annehmen. Zu dieser Annahme ist man durch die Verwendung von Doppelzellenschaltern berechtigt, weil die geladenen Zellen hiermit abgeschaltet werden. Da der maximale Stromverbrauch 5000 A beträgt und die 20000 Lampen 7,3 Std. gleichzeitig brennen, so werden in dieser Zeit $5000 \times 7{,}3 = 36500$ A.-Std. verbraucht. Bezeichnen wir nun mit A die zum Laden der Accumulatoren verwendete Strommenge und mit B den Strom, der direkt von den Dynamomaschinen in die Leitung abgegeben wird, so entspricht der Bedingung gleicher Arbeit mit Rücksicht auf die um 16% größere Spannung beim Laden die Gleichung $B = 1{,}16$ A. Bei 22stündigem Betriebe stehen dann zum Laden der Accumulatoren $22 - 7{,}3 = 14{,}7$ Std. zur Verfügung und besteht somit bei 10% Verlust an Strommenge in den Accumulatoren die Gleichung $0{,}9\ A \times 14{,}7 + 7{,}3\ B = 36500$ oder, wenn hierin der Wert $A = \frac{B}{1{,}16}$ eingesetzt wird, $\frac{0{,}9 \times 14{,}7\ B}{1{,}16} + 7{,}3\ B = 36500$. Aus dieser Gleichung findet sich aber für B der Wert: $B = 1952$ A. Von diesen 1952 A. entfallen nun 71,2% oder rund 1390 A. auf die Fernleitung I und 28,8% oder rund 562 A. auf die Fernleitung II. Diesen Stromstärken entspricht bei dem Widerstande von 0,061 resp. 0,151 Ohm der Fernleitungen ein Spannungsverlust von $1390 \times 0{,}061 = 562 \times 0{,}151 = 84{,}8$ V. Die Dynamomaschinen müssen daher mit einer Spannung von $220 + 30 + 84{,}8 = 334{,}8$ V. arbeiten und beträgt somit die in der Maschinenstation aufzuwendende Arbeit $\frac{334{,}8 \times 1952}{0{,}9 \times 736} =$ rund 987 P. S., das heißt, es wird jede der drei vorhandenen und für eine normale Leistung von 300 P. S. gebauten Dampfmaschinen mit ca. 10% mehr belastet werden. Hätte man mit einer 8,7stündigen maximalen Brenndauer durchgeführten

Digitized by Google

Berechnung nur 16% Spannungsdifferenz beim Laden und Entladen der Accumulatoren und außerdem die richtigen Querschnitte der Fernleitungen zu Grunde gelegt, so würde man zunächst gefunden haben, daß die von den Dynamomaschinen maximal abzugebende Stromstärke 2290 A. betragen muß, von welchen rund 1630 A. auf die Fernleitung I und 660 A. auf die Fernleitung II entfallen. Diesen Stromstärken entspricht aber in den Fernleitungen ein Spannungsverlust von 99,5 V., so daß in der Maschinenstation an den Klemmen der Dynamomaschinen eine Spannung von $220 + 30 + 99{,}5 = 349{,}5$ V. herrschen muß. Die Leistung der Maschinenstation beträgt somit: $\frac{349{,}5 \times 2290}{0{,}9 \times 736} = 1208$ Pferdekräfte.

Da nun die drei vorhandenen Maschinen maximal 1200 Pferdekräfte zu leisten vermögen, so würden sie in diesem Falle mit ihrer Maximalleistung arbeiten und die mehr erforderlichen 8 Pferdekräfte von den größer als absolut notwendig vorgesehenen Accumulatoren-Batterien übernommen werden. Also selbst bei dieser unrichtigen Annahme der maximalen Brenndauer reichen Maschinen und Accumulatoren vollständig aus, um den an sie gestellten Anforderungen zu entsprechen. Zum Schlusse möchten wir nur noch kurz die Resultate anführen, welche sich, wie dies in dem Projekte vorgesehen ist, bei der Annahme einer nur 5stündigen maximalen Brenndauer ergeben. Zunächst ergiebt die Rechnung, daß von den Dynamomaschinen maximal 1374 A. zu liefern sind, welche sich zu 979 resp. 395 A. auf die beiden Fernleitungen verteilen. Der Spannungsverlust, welcher durch diese Stromstärken in den Fernleitungen hervorgerufen wird, beläuft sich auf 59,7 V., so daß die Dynamomaschinen an ihren Klemmen eine Spannung von $220 + 30 + 59{,}7 = 309{,}7$ V. besitzen müssen. Hieraus folgt aber, daß die in der Maschinenstation zu leistende Arbeit $\frac{309{,}7 \times 1374}{0{,}9 \times 736} = 642{,}5$ Pferdekräfte betragen muß. Bei der Annahme einer 5stündigen maximalen Brenndauer brauchen also selbst am höchst belasteten Tage nur zwei Maschinen zu laufen und auch diese nur mit einer um 7% über ihre normale Leistung hinausgehenden Beanspruchung. Die dritte Maschine steht mithin jederzeit in Reserve. Aus den im Vorstehenden gegebenen Durchrechnungen geht hinreichend hervor, daß das fertig ausgebaute Elektrizitätswerk der Stadt Düsseldorf in vollem Umfange den an dasselbe gestellten Anforderungen zu entsprechen im stande ist. Schließlich möchte ich noch auf eine von Herrn Geh. Hofrat Prof. Dr. Kittler nach amtlichen Quellen zusammengestellte Tabelle hinweisen, welche sich in Nr. 10 der Elektrotechnischen Zeitschrift vom 4. März 1892 befindet. In dieser Tabelle sind von 12 deutschen Centralstationen unter anderen die am höchstbelasteten Tage abgegebenen A.-Std. und die in einer

Digitized by Google

Stunde maximal verbrauchten A. angegeben. Aus diesen beiden Daten bestimmt sich die maximale Tagesbrenndauer der gleichzeitig brennenden Lampen und beträgt dieselbe nach der Tabelle im Mittel 6,7 Std. Läßt man die mit abnormen Verhältnissen arbeitenden Centralen Berlin und Hamburg unberücksichtigt, so sinkt der Wert der Tagesbrenndauer auf 6,4 Std. Diese Zahlen beweisen, daß man bei Elektrizitätswerken durchaus nicht mit den nämlichen Verhältnissen wie bei den Gasanstalten rechnen darf, bei denen man eine viel höhere Tagesbrenndauer, nämlich 8.7 Std. erhielt.

Die Berechnung einer Beleuchtungs-Anlage.

Mit Tagesbetrieb für eine Fabrik, wie sie J. Sack in seinem Buche über die Accumulatoren (A. Hartleben, Wien 1892) ausführlich dargestellt hat, möge sich derjenigen f. Elektr. Werke hier anschließen.

Für die elektrische Beleuchtung einer Fabrik mit 12stündiger Arbeitszeit und Beleuchtung von morgens 6 bis 8 und von abends 4 bis 7, insgesamt täglich in maximo 5 Std., stellt sich die gesamte Stromlieferung, wenn 120 Glühlampen zu 16 V. und 0,5 A. erforderlich sind, auf $120 \times 0{,}5 = 60$ A. und für 5 Stunden auf $60 \times 5 = 300$ A.-Std.

Für diese Strommenge ist eine Dynamo von 110 Volt Spannung erforderlich; demnach stellt sich die Gesamtleistung auf $60 \times 5 \times 110 = 33\,000$ V.-A.-Std.

Die Stromlieferung wird zur Hälfte auf die Dynamo, zur Hälfte auf einen Accumulator verteilt. Da 25% Verlust an hineingeladenen Volt-Amp. gerechnet werden, so sind für den Accumulator mit Rücksicht auf die halbe Stromlieferung nur $25 : 2 = 12\frac{1}{2}\%$ in Rechnung zu stellen. Die Dynamo muß aber diesen Verlust decken, somit entfällt auf dieselbe eine Leistung von

$$33\,000 \times \frac{100}{100-12{,}5} = 33\,000 \times 1{,}143 = 37\,719 \text{ V.-A.-Std.}$$

oder bei dem 12stündigen Betrieb eine Leistung von 3143 Volt-Amp. pro Stunde.

Bei 110 Volt Spannung muß somit eine Nebenschluß-Dynamo beschafft werden, welche $3143 : 110 = 28{,}6$ A. giebt, so daß von dem Accumulator noch 31,4 A. herzugeben sind. Es wird nun, um beiderseits 30 A. zu liefern, die Dynamo etwas größer gewählt, so daß sie bei 110 V. 30 A. zu geben vermag. Demgemäß wird ebenfalls der Accumulator auf 30 A. Entladestrom eingerichtet.

Digitized by Google

Für den Accumulator ist noch der Verlust an Stromstärke, welchen der Ladestrom bei der Entladung erleidet und auf 10% angenommen wird, in Rechnung zu stellen, infolgedessen, um die Hälfte der verlangten Ampèrestunden mit 150 zu erhalten. $100:(100-10) = 1{,}111 \times 150 =$ 166,5 A.-Std. in den Accumulator geladen werden müssen.

Für den Accumulator ist eine Batterie zu wählen, welche unter Berücksichtigung, daß während der Ladung Lampen nicht brennen, daß somit die mittlere Spannung auf $(2{,}70 + 1{,}90) : 2 = 2{,}3$ Volt angesetzt werden muß, sowie unter Anrechnung der Verluste 60 Elemente umfaßt. Dieselben ergeben eine Gesamtspannung von 133,8 Volt, so daß unter der Bedingung, daß die Dynamo beständig mit $110 \times 30 = 3300$ V.-A. belastet sein soll, ganz gleich, ob beleuchtet oder nur geladen wird, ein mittlerer Ladestrom von $3300 : 133{,}8 =$ rund 25 A. erforderlich ist.

Die Ladung von 166,5 A.-Std. kann demnach in $166{,}5 : 25 =$ 6,66 Std. erfolgen, sofern der Ladestrom in seiner Stärke stets der zur Zeit vorhandenen und nach und nach steigenden Ladespannung entsprechend geregelt wird und das Produkt aus Stromstärke und Spannung stets die Zahl 3300 beträgt. Zur Vermeidung einer beständigen Regulierung zieht man es gewöhnlich vor, mit gleicher Stromstärke die Ladung auf die zur Verfügung stehenden 7 Std. zu verteilen, so daß der Ladestrom von 25 auf 23,8, rund auf 24 A. ermäßigt wird.

Die Ladung beginnt mit einer Spannung von 2,05 Volt und endigt mit hochgerechnet 2,75 Volt; die mittlere Spannung beträgt daher 2,4 Volt pro Element, also $60 \times 2{,}4 = 144$, rund 155 Volt. Die Maschine muß bei dieser Durchschnitts-Spannung von 2,4 V. den vorberechneten Ladestrom von 24 A. noch liefern; sie muß aber auch derartig eingerichtet sein, daß sie 2,75 V., oder für die ganze Batterie 165 Volt zuläßt, bei welcher Spannung indessen die Ladestromstärke auf 12 A. herabgehen kann. Für die erste Ladung sind jedoch 20 A. empfehlenswert, so daß beständig das Produkt auf 3300 erhalten wird.

Für den Antrieb der Dynamo ist eine Betriebsmaschine von $5\frac{1}{2}$ P. S. erforderlich. Dies ergiebt sich aus der Belastung von 3300 Volt-Amp. dividiert durch die P. S. mit 600 Volt-Amp. gleich $5\frac{1}{2}$. (Man gewinnt aus einer Dynamo für jede auf sie übertragene P. S. 600—650 Volt-Amp. im äußeren Stromkreise.)

Demnach beansprucht die Anlage der elektrischen Beleuchtung einer Fabrik mit einer Beleuchtungszeit von 6 bis 8 und 4 bis 7 = 5 Stunden und unter Verwendung von 120 Glühlampen zu 16 Normalkerzen

1. eine Accumulatoren-Batterie von 60 Elementen geeigneter Größe für 150 A.-Std. Kapazität, 25 A. Lade- und 30 A. Entladestrom;

Digitized by Google

2. eine Nebenschluß-Dynamomaschine von 110 bis 165 Volt und einer Stromstärke von 30 A.;

3. eine Antriebsmaschine von $5\frac{1}{2}$ P. S.

Dieser verkleinerten Betriebseinrichtung gegenüber würde bei direktem Maschinenbetrieb, also bei alleiniger Übernahme der Gesamtleistung eine Dynamo von 110 Volt und 60 A. = 6600 Volt-Amp. und zu deren Antrieb ein Motor von 6600 : 60 = 11 P. S. erforderlich sein.

Das von der Accumulatoren-Fabrik bei der Berechnung angegebene Element kostet ausschließlich Verpackung 57 M.; es wiegt ohne Säurefüllung und unverpackt 50 kg. 60 Elemente kosten demnach $60 \times 57 = 3420$ M. ohne Fracht von der Fabrik zum Besteller.

Eine Dynamomaschine mit Nebenschluß-Regulator von 110 Volt und 30 A. kostet ausschließlich Verpackung 950 M., die Anlage mit Dynamo und Accumulator in der vorangegebenen Größe kostet demnach insgesamt 4370 M.

Diesem Anlagekapital steht die Ausgabe für eine Dynamo mit Nebenschluß-Regulator von 110 Volt und 60 A. mit 1260 M. ausschließlich Verpackung gegenüber, so daß sich eine Mehrausgabe von 2110 M. zu Ungunsten des gemischten Betriebes ergiebt, im Vergleich mit dem alleinigen Maschinenbetrieb, was bei 5% Zinsen und 5% Tilgung eine Jahresausgabe von 211 M. ergiebt.

Diesem finanziellen Nachteil ist entgegenzustellen, daß der Fabrik, sofern sie die Dynamo von der Fabriksmaschine treiben läßt, $5\frac{1}{2}$ Pferdekräfte mehr zur Verfügung stehen, als beim direkten Maschinenbetrieb, was in allen Fällen, wo die Fabrik überhaupt nur wenige Pferdekräfte in Überschuß hat, derartig in die Wagschale fällt, daß der finanzielle Nachteil mehr als aufgewogen wird, abgesehen von der erhöhten Betriebssicherheit durch den gemischten Betrieb gegenüber dem alleinigen Dynamobetrieb.

Ist eine Betriebsmaschine nicht vorhanden, so stellt sich die Ausgabe für die Anlage eines gemischten Betriebes auf 4370 + 1250 M. für die $5\frac{1}{2}$ pferdige Dampfmaschine = 5620 M., während die Ausgabe für die Anlage mit direktem Dynamobetrieb auf 1260 + 1750 für die 11pferdige Maschine = 3010 M. oder 2610 M. weniger beträgt.

Es ist auch hier ein Nachteil in den Anlagekosten für den gemischten Betrieb vorhanden, welcher bei 5% Zinsen und 5% Tilgung jährlich eine Ausgabe von 261 M. erfordert. Zu Gunsten des gemischten Betriebes spricht aber der promptere Betrieb, wie dies schon eingehend erörtert worden ist; ferner die Möglichkeit, beim Versagen der Dynamo mittels der

Digitized by Google

Accumulatoren-Batterie die Beleuchtung allein übernehmen zu können; endlich der Umstand, für etwaige kleinere Beleuchtungs-Nebenanlagen, sowie für einen späten Dienst in den Bureaux oder an einzelnen Betriebsstellen ein billiges, dabei stets ruhiges helles Licht zu haben.

Die Unterhaltungskosten sind bei dieser Berechnung nicht in Rechnung gestellt, da dieselben genau sehr schwierig festzustellen sind, zumal die verschiedenen Konstrukteure von Accumulatoren, sowie viele andere Techniker für oder gegen Accumulatoren in ihren bezüglichen Angaben wesentlich voneinander abweichen. Die Praxis findet auch hier das Beste, nämlich die Anlage für kleinere Beleuchtungsanlagen für jeden einzelnen Fall und beide Betriebsarten besonders zu entwerfen und gegeneinander abzuwägen.

Digitized by Google

Fragebogen für eine Accumulatorenanlage.

1. Ist die zum Laden des Accumulators bestimmte Dynamomaschine
Nebenschluß-Maschine?
Compound- „ ?
Serien- „ ?

Anmerkung. Wenn die Dynamo-Maschine erst angeschafft werden soll, so ist eine Nebenschluß-Dynamo-Maschine zu wählen und zwar mit einer Spannung von 64 82 129 140 Volt
für Betrieb von Lampen „ „ „ „ 50 65 100 110 „ bei voller Stromstärke.

2. Was leistet dieselbe in Volt? in Amp.? oder, wenn das nicht möglich ist, anzugeben: Wieviel Lampen à 16 NK. kann die Maschine speisen?
3. Wieviel Spannung gebrauchen die vorhandenen Glühlampen?
4. Soll der Accumulator nur Lampen betreiben in der Zeit, in welcher der Maschinenbetrieb ruht? oder soll derselbe für eine Erweiterung der Lichtanlage dienen?
5. Soll der Accumulator als Lichtregulator dienen, also während des Dynamomaschinenbetriebes etwa vorhandene Lichtschwankungen ausgleichen?
(Nur bei Nebenschlußmaschinen möglich.)

Wieviel Lampen soll der Accumulator speisen und während welcher Zeit soll dies geschehen?

	Stück	Zeiten von 3 Uhr nachmittags bis 3 „ morgens		Zeiten von 3 Uhr morgens bis 3 „ nachmittags	
		von Uhr	bis Uhr	von Uhr	bis Uhr
Glühlampen 32 NK.					
„ 25 „					
„ 16 „					
„ 10 „					
Bogenlampen 12 Amp. = ca. 1500 NK.					
Bogenlampen 9 Amp. = ca. 1000 NK.					
Bogenlampen 5 Amp. = ca. 500 NK.					

7. Wie viel Pferdestärken stehen zur Ladung des Accumulators zur Verfügung?
8. Welche Zeit steht zur Ladung des Accumulators zur Verfügung?
9. Müssen während der Ladung des Accumulators Lampen mitbrennen?
Wie groß ist die geringste Anzahl der während der Ladung brennenden Lampen?
„ „ „ „ höchste „ „ „ „ „ „ „ ?

Anmerkung. Es vereinfacht und verbilligt die Anlage und die Betriebskosten, wenn die Ladezeit so eingerichtet werden kann, daß während derselben keine Lampen mitbrennen müssen. Eine während der Hauptlichtbetriebszeit nicht vollausgenutzte Dynamomaschine kann, falls erforderlich, mit ihrem Überschuß zur gleichzeitigen Ladung eines Accumulators Verwendung finden.

Wir bedürfen zur Veranschlagung eines solchen Falles der Beantwortung folgender zwei Fragen:

1. Wie groß ist die zur Ladung verfügbare Mehrleistung der Dynamomaschine in Amp. oder, wenn das nicht möglich ist anzugeben, wie viel Glühlampen à 16 Normalkerzen kann die Dynamomaschine noch mehr speisen?
2. Wie lange dauert der Lichtbetrieb mit der Dynamomaschine?

Falls ein so großer Leitungsverlust vorhanden ist, daß derselbe bei der Bestimmung der Spannung des Accumulators in Frage kommt, ist die für den Accumulator gewünschte Spannung anzugeben, andernfalls wird diese Spannung so groß gewählt, als die bei Frage 3 angegebene Spannung der Glühlampen ist.

Kostenanschlag für eine Accumulatorenanlage

für ..... Volt Spannung

von einer Kapazität von ..... A.-Std. bei ..... Amp. Entladestrom.

Reihe ..... von ..... Elementen Nr.		
..... A.-Std. garantierter Kapazität		
..... Amp. höchst zulässiger Ladestrom		
" " " Entladestrom		
Schalttafel mit aufmontierten Nebenapparaten ..... für ..... Amp.		
Spannungsmesser Nr. ..... für ..... bis ..... Volt		
Strommesser Nr. ..... für ..... Amp.		
Lichtleitungsregulator von ..... bis ..... Amp. und ..... Volt regulierend		
Ladewiderstand fest für ..... Volt, veränderlich für ..... Volt u. ..... Amp.		
Doppelpoliger Umschalter für ..... Amp.		
Doppelzellenschalter für ..... Zellen und ..... Amp.		
Einfachzellenschalter " ..... "		
Bottich zum Aufbewahren d. Nachfüllflüssigkeit, Krug zum Nachfüllen und ..... Säuremesser		
Verpackung für Schaltbrett, Schalttafel und Regulator		
" " Batterie		
Holzgestell für die Batterie		
ca. ..... Liter verdünnte Schwefelsäure von 17° Beaumé (aus destilliertem Wasser und möglichst arsen- und salpetersäurefreier Schwefelsäure gemischt), sind vom Besteller für eigene Rechnung zu beschaffen		
Montage, eingeschlossen Reisekosten und Inbetriebsetzung		
	Mark	

Ausgeschlossen bleiben:

Fracht ab Fabrik. Das Gewicht beträgt ca. ..... Kilo.
Alle Leitungen zwischen Dynamomaschine, Schaltbrett und Batterie, sowie deren Montage.

Die Verpackung von Batterie, Schalttafel, Schaltbrett und Regulator wird, wenn kostenfrei zurückgesandt, zu $^2/_3$ des berechneten Betrages gutgeschrieben.

Wenn ohne unser Verschulden der Monteur in seinen Arbeiten aufgehalten wird, z. B. durch unvollendeten Aufstellraum für den Accumulator, nicht vollendete Maschinen oder Lichtanlage, so ist diese versäumte Zeit besonders, und zwar mit **Mark 12,—** für zehnstündige Arbeitszeit, zu vergüten.

Zu denjenigen Arbeiten, welche durch zu stellende Hilfsmannschaften zu leisten sind, gehören:

„Das Herbeischaffen der Kisten und sonstigen Materialien zum Aufstellungsplatz.
„Das Auspacken der Materialien und die Handlangerdienste für den Monteur.
„Das Einfüllen der Schwefelsäure und das Zuschlagen und Fortschaffen der Kisten und Emballage.

Garantie.

Bei nachgewiesener guter Behandlung der von uns bezogenen Batterien übernehmen wir eine dreijährige Garantie für jedes mangelhafte Arbeiten derselben.

Lieferzeit.

Zahlungsbedingungen.

$^1/_3$ bei Versand; $^1/_3$ bei Abnahme; $^1/_3$ nach 3 Monaten.

Bemerkungen.

Digitized by Google

2. Betrieb und Anwendung für Fahrzeuge.

Wirkung der elektromotorischen Kraft des Motors auf die Stärke der Entladung.

Die Ergebnisse der Versuche, welche wir in den Tabellen I und II sowie in den Fig. 58—60 dargestellt haben, geben uns die respektiven Werte, welche die Accumulatoren an elektrischer Spannung bei verschiedenen Entladungen liefern. Die Entladungen erfolgten hier jedoch durch verschiedene äußere Widerstände, die aus homogenen Leitern hergestellt wurden.

Erfolgt jedoch die Entladung nicht durch Drähte oder Lampen, sondern durch einen Elektromotor, dann wird die Spannung der Batterie, je nach der Gegenspannung des Motors sich ändern, während der wirkliche Widerstand des äußeren Kreises derselbe bleibt. Der Strom, welcher durch den Motor gehen würde, falls seine Amatur nicht rotiert, wäre gleich $J = \frac{E}{W}$, sobald jedoch die Amatur den durch ihre Windungen zirkulierenden Strom bewegt, wird die Stromstärke steigen, weil dann die Maschine als Dynamo arbeitet; sie wird dann eine Gegenspannung erzeugen, die natürlich geringer als E ist. Je schneller jedoch die Amatur umläuft, je mehr wird sich der Wert von e demjenigen von E nähern, und je nachdem die entgegenwirkende Spannung wächst, wird sich im gleichen Verhältnis die Stromstärke c vermindern. Der Accumulator entladet sich daher nicht länger mehr durch den bekannten Widerstand W, sondern gegen eine elektromotorische Kraft, welche die gleiche Wirkung ausübt insofern, als die Stromstärke bestimmt ist als ein Widerstand irgend eines leitenden Materials, der sich zwischen den Polen der Batterie befindet. Die Gegenspannung e bestimmt man aus der nachstehenden Gleichung: $e = \frac{W-w}{W} \cdot E_1$. Um diese Erscheinung noch besser zu verdeutlichen, ist die nachstehende Tabelle VI nach Versuchen mit einem Elektromotor aufgestellt worden, dessen Windungen hintereinander geschaltet sind, und dessen Gesamtwiderstand 0,4 Ohm an den Klemmen kurz nach dem Betrieb beträgt. Es waren 2 elektrische Spannungen zu bestimmen, E durch einen Voltmeter im Stromkreise der Batterie, E_1 die Spannung der Batterie beim Betriebe des Motors mit der Stromstärke c.

Tabelle VI.

Entladung durch eine Reihenschaltungsdynamo.

Anzahl der Zellen	Umdrehungen in der Minute	Stromstärke c in Amp.	E Volt bei offenem Stromkreis	E_1 Volt bei geschlossenem Stromkreis	Elektrisch H PHP.	An der Bremse	$\frac{E_1}{E}$	Gegenelektromotorische Kraft e
48	1014	31,35	95,5	88,0	3,7	2,8	0,921	75,4
48	720	42,9	95,5	85,7	4,92	3,6	0,897	68,5
60	1360	31,4	117,6	107,8	4,6	3,6	0,916	89,0
60	950	42,9	117,6	104,4	6,1	4,6	0,896	86,6
70	1200	42,9	139,6	125,0	7,2	5,5	0,895	107,7
70	1080	47,8	139,6	122,5	7,85	6,0	0,877	103,4

Die Versuche begannen mit 48 hintereinander geschalteten Zellen, welche bei offenem Stromkreise 95,5 Volt ergaben. Nachdem der Motor eingeschaltet war und die Bremse 2,8 H. P. anzeigte, fiel die Spannung auf 88 Volt, die zu gleicher Zeit beobachtete Stromstärke betrug 31,35 Amp.; nachdem die Belastung auf 3,6 H. P. erhöht war, wurden 42,9 Amp. gebraucht und die Spannung der Batterie fiel auf 85,7 Volt. Weitere Versuche mit 60 und 70 Zellen wurden gleichfalls angestellt und ergaben ganz ähnliche Resultate. In allen Fällen betrug der Wert von E_1, sobald durch entsprechende Belastung die Stromstärke 42,9 war, ungefähr 89% von E, bei 31 Amp. stieg die elektromotorische Kraft bei geschlossenem Stromkreis auf 91% von derjenigen bei offenem Stromkreise.

Wir sehen also, daß E_1 eine Größe ist, welche sich mit der Belastung ändert. Die letzteren Versuche mit 47,8 Amp. ergaben nur 122,5 Volt von 139,6 Volt bei offenem Stromkreise. Das Verhältnis $\frac{E_1}{E}$ ist für jede Messung in der Tabelle ausgerechnet und ebenso auch die Gegenspannung des Motors.

2. Wirkung der Gegenspannung der Batterie auf die Ladedynamo.

Obgleich eine Nebenschluß-Dynamo bei einer gewissen Umdrehungszahl ein gewisses Maximum an Spannung allein hervorbringen kann, wird sie sich doch irgend einer unter dem Maximum bleibenden Gegenspannung anpassen. Vergrößern wir die Anzahl der Zellen und mit ihnen die Gegenspannung, so wird sich der Strom vermindern, bis er auf 0 kommt, so daß schließlich die Accumulatoren die Kraft der Dynamo überwinden und sich durch dieselbe entladen, indem sie den Generator in einen

Digitized by Google

Motor verwandeln, der in derselben Richtung umläuft, weil der Entladestrom der Accumulatoren der umgekehrte ist als der der ladenden Dynamo. Versuche mit einer Nebenschlußmaschine haben dieses bestätigt. Die Dynamo konnte 30 Zellen bei 800 Touren in der Minute mit 22 Amp laden. Sobald jedoch noch eine Zelle in den Stromkreis mehr eingeschaltet wurde, fiel der Strom auf 0, weil bei derselben Geschwindigkeit die Maschine nicht mehr als 68 Volt geben konnte und die Gegenspannung per Zelle zu dieser Zeit 2,25 V. war. Tabelle VII stellt den Vorgang beim Laden mit 20,25 und 30 Zellen dar, während die Tabelle VIII die Ergebnisse ähnlicher Versuche mit einer anderen Maschine beim Laden von 60,65 und 70 Zellen zeigt.

Tabelle VII.

Nebenschlußdynamo von Brush beim Laden.

Anzahl der Zellen	Umdrehungen per Minute	Stromstärke in Amp.		Klemmenspannung Volt
		Hauptwindungen	Nebenschlußwindungen	
20	812	28,56	3,00	48,16
25	812	27,37	3,72	59,34
30	800	22,13	4,18	67,94

Tabelle VIII.

Nebenschlußdynamo von Siemens beim Laden.

Anzahl der Zellen	Umdrehungen per Minute	Stromstärke in Amp.		Klemmenspannung Volt
		Hauptwindungen	Nebenschlußwindungen	
60	1161	29	2,9	140
65	1185	23,8	3	147,7
70	1175	17,6	3,45	154

3. Wachsen der Spannung beim Laden.

Beim Beginn der Ladung ist die per Zelle erforderliche Spannung nicht viel höher als 2 Volt, im Verlauf der Ladung steigt die Spannung, bis zuletzt, sobald eine rege Gasentwickelung entsteht, dieselbe auf 2,5 und mehr Volt sich erhebt, je nach der angewendeten Stromstärke. Die Dynamomaschine muß daher so beschaffen sein, daß sie, wenn man z. B. 50 Zellen in einer Reihe hintereinander ladet, 125 Volt an den Klemmen der Batterie erzeugt. Setzt man voraus, daß die Geschwindigkeit der

Digitized by Google

Dynamo konstant ist, so würde die Stromstärke auch nahezu konstant bleiben, denn wenn beim Beginn der Ladung die Gegenspannung der

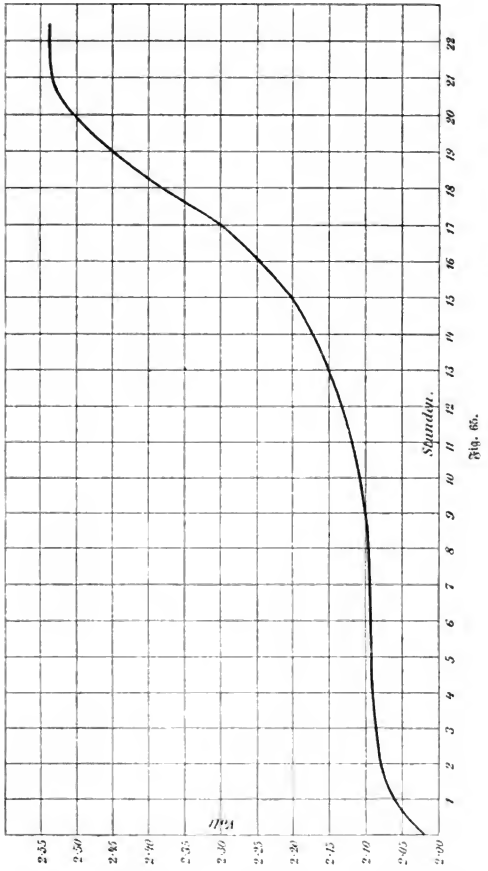


Fig. 65.

Zellen niedrig ist, ist der innere Widerstand der letzteren entsprechend hoch, dieses beides wirkt einander entgegen. In der Fig. 61, S. 112 haben wir

Digitized by Google

gesehen, daß das spezifische Gewicht der Säure je nach der Stromstärke, welche durch die Zellen gesandt wird oder aus ihnen entnommen wird, steigt und fällt, und daß diese durch das Hydrometer gewonnenen Kurven praktisch beinahe gerade Linien sind. Die Spannung jedoch steigt nicht genau im gleichen Verhältnis mit der in den Zellen gegebenen Ladung, wie dies aus der Fig. 65 sich erklären läßt. Diese Kurve ist von den Herren Drake & Gorham gelegentlich eines Vortrags im Jahre 1868 entworfen worden, um gewisse Vorgänge zu erläutern. Die Kurve zeigt das Steigen der Spannung während der Ladung bei einer konstanten Stromstärke von 22 Amp. Man sieht aus der Zeichnung, daß zu Anfang der Ladung die Spannung nur 2,02 Volt betrug, daß, nachdem 220 A.-Std. eingeladen waren (ungefähr die Hälfte der Kapazität der Zellen, mit welchen die Versuche gemacht wurden), die Spannung auf 2,13 V. gewachsen war und dann, als die Zellen anfingen freies Gas zu entwickeln, die Spannung

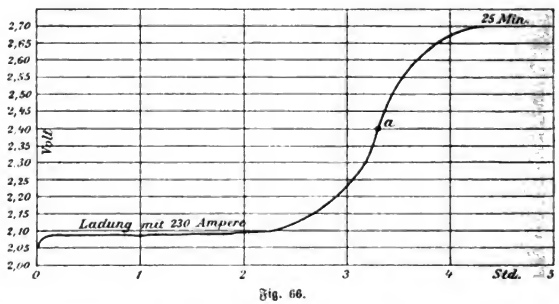


Fig. 66.

2,53 Volt betrug. Die Kurve zeigt also durchaus kein proportionales Anwachsen der Spannung, denn in der ersten Stunde des Ladens steigt die Spannung sehr stark, alsdann bleibt sie $^1/_{13}$ der ganzen Ladezeit beinahe konstant, in den nächsten 7 Stunden steigt die Spannung wieder sehr schnell, während in der letzten Stunde kein Anwachsen mehr stattfindet, woraus hervorgeht, daß nunmehr die Zellen mit 462 A.-Std. vollgeladen waren. Es geht hieraus hervor, wie die Dynamos beschaffen sein müssen, welche zum Laden von Accumulatoren mit konstantem Strom Verwendung finden sollen. Sir Thomas S. Bazley teilt in Electrical Review vom 19. März 1886 mit, daß die Ladung von Accumulatoren nicht allein mit dem Hydrometer gemessen werden kann, sondern bei konstanter Geschwindigkeit der Dynamo auch durch Stromstärke und Spannung. Er erwähnt, daß das allmähliche Steigen der Spannung während

der Ladung ein unfehlbares Zeichen der wachsenden Aufspeicherung sei. Nachdem man einige Vorversuche angestellt hat, ist es möglich, durch Ablesen am Voltmeter zu bestimmen, wann die volle Ladung erreicht ist, da keine weitere Erhöhung der Spannung der Dynamo die Ladung oder Spannung der Zellen mehr vermehren kann.

Um sich zu vergewissern, daß die Ablesungen am Voltmeter wirklich mit dem Betrage der Ladung korrespondieren, ist es am besten, die Anzahl der Umdrehungen der Dynamo jedesmal beim Ablesen der Spannung mit zu ermitteln, dies ist jedoch umständlicher als die Anwendung einer Säurewage. Neuerdings hat man durch Versuche festgestellt, daß es vorteilhafter ist, gegen Ende der Ladung die Stromstärke etwas herabzumindern, während die Spannung erhöht werden muß. Man ladet dann etwas vorteilhafter, weil die Gasentwickelung dann nicht so stürmisch vor sich geht. Die nachstehenden 3 Kurven (aus dem Schal-

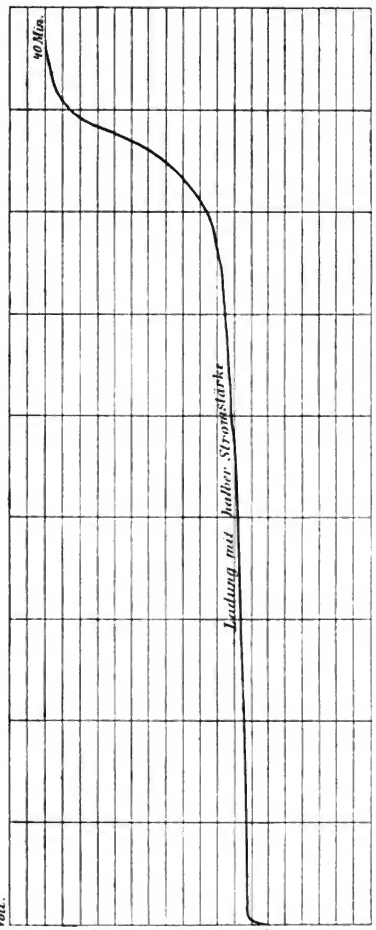


Fig. 67.

tungsbuch) der Aktiengesellschaft zu Hagen zeigen dies noch viel deutlicher. Die Kurven in den Fig. 66, 67 und 68 zeigen den Verlauf der Ladung einer Zelle von 920 A.-Std. Kapazität, mit einem Ladestrom von 230 Amp. (Entladestrom 276 Amp.) Die Zelle war zuvor bis an ihre Kapazitätsgrenze mit 920 A.-Std. entladen. Fig. 66 zeigt die Ladung bei 230 Amp. in 4 Stunden 25 Minuten, während die Fig. 67 den Vorgang der Ladung mit halber Stromstärke, also 115 Amp. in 8 Stunden 40 Minuten darstellt. In dem ersteren Falle war die Endspannung 2,7 Volt, während dieselbe im letzteren 2,65 Volt, also niedriger war. Besonders da, wo die Kurve ziemlich plötzlich ansteigt, ist die niedrigere Spannung zu bemerken, und es ist daher zur Erhöhung des Güteverhältnisses empfehlenswert, von

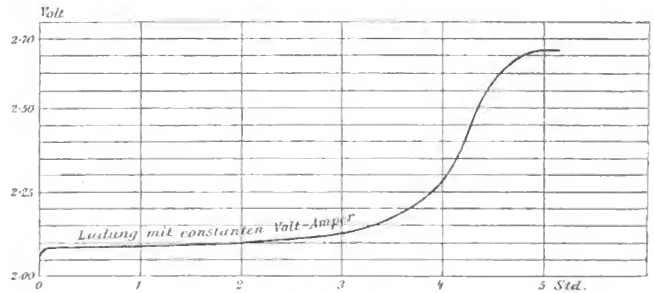


Fig. 68.

ca. 2,4 Volt ab, das ist in Figur 66, Punkt a, die Stromstärke ein wenig zu erniedrigen, bis dieselbe am Ende der Ladung nur noch die Hälfte der höchst zulässigen Stromstärke beträgt. Die Fig. 68 zeigt den Verlauf der Spannung während der Ladung bei stets gleicher Belastung der Betriebsmaschine, so daß die Dynamo stets dieselbe Wattzahl liefert, wobei ebenfalls die Ladung günstiger verläuft, als wenn durchweg dieselbe Stromstärke angewendet wird.

4. Änderung der Spannung beim Entladen während der Motor läuft.

Wir haben aus den Tabellen VII und VIII S. 148 gesehen, daß in gewissen Grenzen die Spannung einer Nebenschluß-Dynamo sich der Gegenspannung der Zellen, welche sie ladet, anpaßt und daß bei gleicher Umdrehungszahl diese Gegenspannung steigt, indem der Strom fällt, und umgekehrt. Wir haben gleichfalls in den Tabellen I und II, S. 100 ge-

Digitized by Google

sehen, daß die Spannung einer Batterie mit der Stärke der Entladung sich ändert. Die Accumulatoren können mit Sicherheit und Bequemlichkeit nur mit einer Dynamo geladen werden, die ein konstantes magnetisches Feld hat, also mit Nebenschluß-Maschinen, Magnet-Maschinen oder durch Dynamos mit besonders erregten Magnetspulen. Solche Dynamos geben jedoch keine konstante Spannung, wenn der äußere Widerstand oder, was dasselbe ist, die Stromstärke in weiten Grenzen sich ändert. Bei elektrischen Beleuchtungs-Anlagen ist die Batterie mit der Dynamo parallel geschaltet, es ist öfter notwendig, daß beide Strom nach den Lampen geben, indem sie sich gegenseitig in ihrer Leistung unterstützen. So lange nun die Anzahl der Lampen dieselbe bleibt, wird die Spannung der Dynamo und der Zellen gleich bleiben, sobald jedoch die Anzahl der brennenden Lampen vermehrt, also die Stromstärke erhöht wird, dann würde die Spannung der Dynamo im Verhältnis zu der etwas verminderten Gegenspannung der Zellen herabgehen. Um dies zu verdeutlichen, mögen die beiden folgenden extremen Beispiele dienen: Die Dynamo giebt z. B. zur Zeit 40 Amp.; wenn 1 Amp. von den Lampen gebraucht wird, so würden 39 Amp. in die Zellen gehen, und wenn die Lampen 39 Amp. brauchen, so würde nur 1 Amp. auf die Zellen entfallen. In diesem Falle würde durch den verminderten Widerstand des Lampenstromkreises die Spannung der Dynamo ganz bedeutend fallen, obgleich der Widerstand der Batterie nur wenig geringer ist, als der der Lampen und Leitungen.

In der Praxis ist der Widerstand der Batterie immer geringer als $^1/_{10}$ von dem der Lampen. Es bleibt also ein großer Spielraum, um irgend welche Ungleichmäßigkeiten auszugleichen. Herr Augustus Littleton hat in seiner Anlage zu Sydenham in dieser Beziehung interessante Versuche gemacht, welche er in Electrical Review am 19. Mai 1886 veröffentlichte. Er giebt an, daß, wenn die Dynamo mit 600 Umdrehungen per Minute beim Laden lief, die Spannung 117,5 Volt bei 16 Amp.; 110 Volt bei 38 Amp. und nur 96,5 Volt bei 62 Amp. im Lampenstromkreise war. Der Widerstand der Armatur betrug 0,119 Ohm, woraus sich ohne Zweifel der große Einfluß auf diese Schwankungen erklärt; wenn der Widerstand geringer wäre, dann wäre ein viel gleichmäßigeres Resultat erreicht worden. Die Fabrikanten der Dynamo erklären diese Schwankungen der Spannung, wenn die Stromstärke sich ändert, als eine natürliche Folge beim Laden von Accumulatoren, wenn der Motor eine Gasmaschine ist, wie es hier der Fall war, oder wenn sonst irgend ein Motor angewendet wird mit unterbrochenem Antrieb.

Sir David Salomons, dessen umfangreiche Erfahrungen in der An-

Digitized by Google

wendung von Accumulatoren für die elektrische Beleuchtung allgemein bekannt sind, sagt: Die Thätigkeit der Zellen beim Ausgleich von Schwankungen des Lichtes, wenn der Primär-Motor ungleichmäßig geht, hängt von zwei Umständen ab, nämlich, wenn die Zellen geladen werden, und im anderen Falle, wenn die Dynamo läuft und Strom in die Leitungen giebt, jedoch nur wenig Strom in die Zellen. Oder wenn die Zellen zu gleicher Zeit Strom in die Leitungen geben, was der Fall ist, wenn die Spannung der Dynamo und der Zellen gleich ist. Derselbe nennt dies den Gleichheitspunkt. Die Stetigkeit des Lichtes (also der Spannung) hängt ab vom Verhältnis des Widerstandes der Zellen zu demjenigen der Leitungen und von der „Charakteristik" der Dynamo. Je geringer der Widerstand der Zellen und je steiler die Kurve der „Charakteristik" ist, desto stetiger wird das Licht beim Laden sein.

5. Accumulatoren als Regulator.

Wir haben bereits angeführt, daß der Widerstand der Dynamo einen großen Einfluß auf die Stetigkeit des Lichtes hat, wenn die Umdrehungsgeschwindigkeit des Motors einigermaßen ungleichmäßig ist, unter den Ingenieuren war man der Ansicht, wenn die Spannung der Zellen bei verschiedener Stärke der Entladung konstant wäre. Wir wissen jedoch, daß die Stärke der Entladung proportional mit der Kapazität des Accumulators sein muß und diese Kapazität hängt wieder, wie wir bereits ausgeführt haben, von der aktiven Oberfläche der Platten ab. Der innere Widerstand der Zellen hat in gewissen Grenzen einigen Einfluß auf die Regelmäßigkeit der Entladung. Die Stromaufspeicherung hängt jedoch hauptsächlich von der Schnelligkeit ab, mit welcher die chemische Wirkung auf den Platten vor sich geht. Das Volumen der aktiven Masse als auch dessen Verteilung in der Zelle bestimmt die Stromstärke, welche erzeugt werden kann, es muß daher, damit ein Accumulator das Maximum an Strom, der bei einer elektrischen Beleuchtungsanlage von ihm verlangt wird, liefert, eine genügend große Kapazität haben, damit die Spannung der Batterie während des Betriebes sich in keiner Weise vermindert.

Könnte man die Geschwindigkeit eines Primärmotors konstant halten, dann könnte man eine ideale Regulierung durch eine Dynamo von unendlich kleinem inneren Widerstande erreichen, so daß dann diese Dynamo und nicht der Accumulator für die Lampen allen Strom liefern würde, sobald die Lampenzahl vermehrt wird. Die charakteristische Kurve einer solchen idealen Nebenschlußmaschine würde eine horizontale gerade Linie sein, da deren Spannung bei einer gewissen Geschwindigkeit konstant sein müßte, während die Stromstärke nach Belieben geändert werden könnte.

Digitized by Google

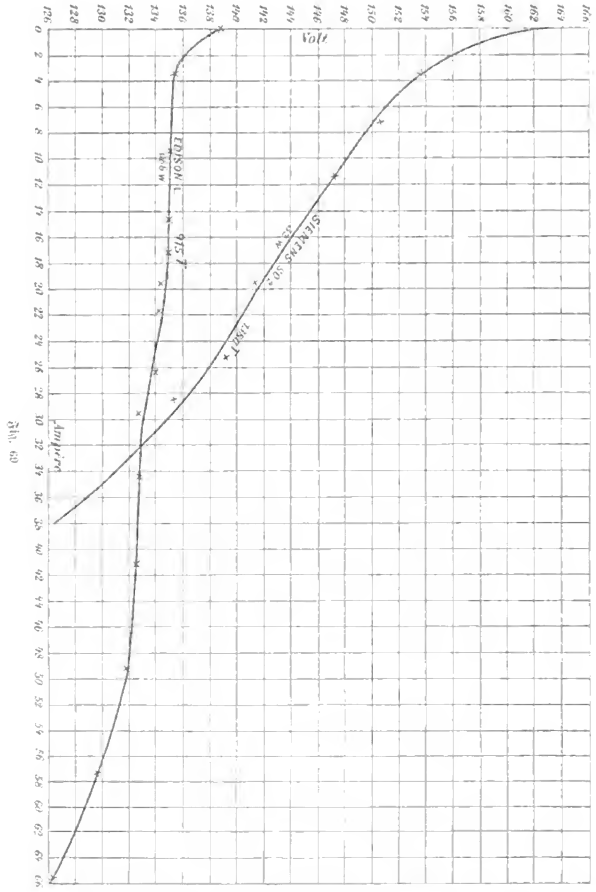
Unglücklicherweise jedoch würde eine solche Dynamo zu einer Batterie nicht passen, deren Spannung am Ende der Ladung um 20% höher ist, als zu Beginn, die Stromstärke würde natürlich in weiten Grenzen schwanken, sobald die Gegenspannung der Zellen auch nur im geringsten sich ändert. So könnten wir mit einer Nebenschlußdynamo (mit einer Armatur von unendlich kleinem Widerstand), die mit einem Accumulator von sehr großer Kapazität verbunden wäre, bei gleicher Geschwindigkeit, im Lampenstromkreise beliebig große Stromstärke, bei konstanter Spannung erhalten; die kleinste Verminderung der Geschwindigkeit jedoch würde traurige Folgen haben insofern, als die Batterie, deren Spannung sich mit derjenigen der Maschine die Wage hält, sich durch die letztere entladen und dieselbe als Motor treiben würde, so daß der Primärmotor momentan in seiner Arbeit unterstützt würde, bis dessen Geschwindigkeit derart stiege, daß er zu Grunde ginge. Nur wenige Prozent Schwankungen in der Geschwindigkeit genügen, um diese Regulierungsmethode, die in der Theorie durchaus korrekt ist, doch in der Praxis zu nichte zu machen.

In den anderen extremen Fällen wieder, wo die Armatur einer Nebenschlußmaschine einen sehr hohen Widerstand hätte, könnte die Geschwindigkeit in weiten Grenzen schwanken, ohne die Spannung wesentlich zu beeinflussen. Sobald wir jedoch die Stromstärke durch Zuschalten von Lampen vermehren, fällt die Spannung der Maschine und der Mehrverbrauch an Strom muß von den Accumulatoren allein geliefert werden, wodurch die Spannung des ganzen Stromkreises sich verringern würde. Die charakteristische Kurve einer solchen Dynamo würde eine vertikale Linie sein. Zwischen diesen beiden Extremen finden wir jedoch einen Mittelweg, der uns den Schlüssel giebt, dieses schwere Problem zu lösen. Es wurde die charakteristische Kurve von 2 Dynamos konstruiert, mit denen praktische Versuche gemacht waren, keine der beiden erreichte das oben angeführte Ideal und doch sind beide in einer Anlage mit Erfolg in Gebrauch. Es wurde die äußere Charakteristik allein gezeichnet, mit der im äußeren Stromkreise gemessenen Stromstärke und der Spannung an den Klemmen, woraus das Diagramm in der Fig. 69 entstanden ist. Die stärker abfallende Kurve bezieht sich auf eine Siemensmaschine SD_2 mit einem Armatur-Widerstand von 0,32 Ohm, mit 1380 Umdrehungen in der Minute. Die mehr horizontale Kurve bezieht sich auf eine Edison-Dynamo (alte L Type) mit 915 Umdrehungen, Widerstand der Armatur an den Bürsten 0,066 Ohm. Um beide zu vergleichen, nehmen wir die entsprechenden Strecken der Kurven mit den Spannungen von 126,1 bis 135,3 V.

Der Einfachheit halber haben wir die innere Charakteristik dieser

Digitized by Google

Nebenſchlußmaſchine fortgelaſſen, doch mag noch angeführt ſein, daß der Strom im Nebenſchluß bei der Siemens-Maſchine von 6,8 bis 5,8 Amp.



und an der Edison-Maſchine von 7,5 bis 6,8 Amp. ſchwankte mit den äußerſten Spannungen von reſp. 135,3 und 126,1 Volt. Die Kurven

der beiden so verschiedenen Dynamos fallen nur in einem einzigen Punkte zusammen, wo sie nämlich 32 Amp. bei 134,8 Volt geben. An diesem Schnittpunkte divergieren die beiden charakteristischen Kurven nach oben und nach unten unter einem Winkel von ungefähr 37°. Bei der Spannung von 126,1 Volt gab die Siemens-Dynamo 38,3 und die Edison-Dynamo 65,8 Amp., bei 135,3 V. gab die erstere 28,3 und die letztere 3,5 Amp. Der Strom schwankte infolgedessen in der einen um 10 Amp. und in der anderen um 62,3 Amp. innerhalb der angegebenen Grenze der Spannung. Die hier angegebenen Schwankungen würden bei einer Batterie von 55 Zellen eine Änderung der Spannung von 2,29 bis 2,46 Volt per Zelle erzeugen, was gerade genügt, die Gegenspannung des Accumulators bei voller Ladung zu überwinden.

Wenn beide Dynamos bei einer normalen Geschwindigkeit laufen, so ging durch den äußeren Stromkreis kein Strom (wenn die Spannung bei der Siemens-Dynamo auf 164 Volt und bei der Edison-Dynamo auf 138,3 Volt gebracht wurde. Es ist klar, daß die Maschine mit der steilsten Charakteristik am besten geeignet sein wird, mit einer Maschine von ungleichmäßigem Gang zusammen zu arbeiten. Angenommen wir kennen die geringste Umdrehungszahl der Maschine bei dem Maximum der Belastung und entsprechender Regulierung der Dynamo, dann müßte die Siemens-Maschine, z. B., wenn wir Accumulatoren bei 32 Amp. mit einer mindesten Spannung von 134.8 Volt laden wollen, mindestens 1380 Umdrehungen machen. Jede weitere Vermehrung der Geschwindigkeit würde zur Folge haben, daß Stromstärke und Spannung in gleichem Maße steigen. Dies Verhältnis würde auch ziemlich dasselbe bleiben, wenn der Winkel, welchen die beiden Kurven mit einander machen, 45° betrüge.

Bei der Edison-Maschine verursacht die geringste Änderung der Spannung eine große Änderung der Stromstärke, wir müssen also bei dieser Dynamo eine viel bessere Regulierung der Geschwindigkeit anwenden.

Das von der Siemens-Dynamo gegebene Beispiel ist für eine Anlage sehr günstig, wo die Accumulatoren bei Tage geladen werden und stärkeren Strom auf wenige Stunden am Abend abgeben sollen. Wo jedoch beide zusammen arbeiten müssen oder nicht, müssen die Zellen immer die Hauptmenge an Strom liefern, da ja die Leistung der Maschine beschränkt ist. Die Edinson-Maschine andererseits würde in Verbindung mit einer Batterie einen größeren Spielraum in der Stromerzeugung erlauben, wenn eine hinreichende Kraft und eine gleichmäßig arbeitende Maschine vorhanden ist.

In dem einen Falle wird das Regulieren durch eine Accumulator-

Digitized by Google

batterie dadurch erreicht, daß sie im Verhältnis zur Leistung der Maschine große Kapazität hat, und im anderen Falle liefert die Maschine denjenigen Strom, welche der Accumulator ohne Spannungsverminderung nicht liefern könnte. In jedem Falle muß die Charakteristik der Dynamo bestimmt sein mit Rücksicht auf die Beschaffenheit der Dampfmaschine, welche die Betriebskraft liefert. Die allgemein angeführte Analogie zwischen einem elektrischen oder hydraulischen Akkumulator oder einem Gasbehälter gilt nur in gewissen Grenzen, die wir hier gleich betrachten werden.

6. Analogie zwischen den hydraulischen und elektrischen Accumulatoren.

Vor einigen 40 Jahren wurde der erste hydraulische Kran an einem Quay zu Newcastle errichtet, dieser Kran arbeitete mit einer konstanten Wassersäule mit 200 Fuß (61 m), um einen Druck von ca. 90 Pfund per □Zoll (6,3 kg. per quem.) auf die Maschine auszuüben, welche die Kette bewegt. Um diesen Druck zu erzielen, pumpte man das Wasser in einen Behälter, der sich in der angegebenen Höhe befand. Einige Jahre später fand Sir W. Armstrong, daß, wenn man das Wasser in ein Rohr oder einen Cylinder pumpt, in welchem sich ein beweglicher Kolben befindet, wenn dieser Kolben mit entsprechenden Gewichten belastet ist, daß das eingeschlossene Wasser denselben Druck ausübt, als wenn es aus einem Behälter käme, der in einer entsprechenden Höhe angebracht ist. In beiden Fällen befindet sich das Wasser unter Druck, gleichgültig ob dieser Druck durch eine Wasser- oder eine Metallmasse erzeugt wird. Das Gefäß, welches das aufgespeicherte Wasser enthält, nannte man Accumulator, da es ja in der That die Kraft einer Maschine aufspeicherte und diese Kraft je nach Bedarf mit konstantem Verhältnis wiedergab. Die durch eine Dampfmaschine bewegten Pumpen füllen den Accumulator eben so schnell, als dasselbe durch die hydraulischen Maschinen gebraucht wird. So lange, als überhaupt Wasser in dem Rohr mit belastetem Kolben sich befindet, ist auch ein konstanter Druck vorhanden. Der Weg des Kolbens oder der Durchmesser des Cylinders oder noch besser die Kapazität dieses hydraulischen Accumulators muß natürlich im Verhältnis zu der geförderten und verbrauchten Druckwassermenge stehen; ist der Verbrauch gleichmäßig und die Versorgung ungleichmäßig, dann muß die Kapazität entsprechend größer sein. Bei den elektrischen Accumulatoren müssen wir gleichfalls die Kapazität entsprechend der ungleichmäßigen Leistung der Dynamo oder der elektrischen Pumpe wählen, die Ungleichmäßigkeit der Maschine muß jedoch in sehr engen Grenzen gehalten werden. Die Anzahl der Hübe der Wasserpumpe kann für kurze

Digitized by Google

Zeit unter Umständen sehr gering werden; solange noch die geringste Wassermenge in dem Accumulator ist, wird der Druck immer konstant sein infolge der Belastung, während bei den elektrischen Accumulatoren eine verhältnismäßig kleine Verringerung der Geschwindigkeit des Ladeapparats sofort eine Entladung des elektrischen Stromes in die Maschine zur Folge hat.

7. Haltbarkeit der Platten.

In Bezug auf die Haltbarkeit der Accumulatoren hat man zu unterscheiden die Haltbarkeit der positiven und die der negativen Platten und diejenige der Zellen. Was die letzteren anbetrifft, so richtet sich dieselbe nach Art und Beschaffenheit des Materials, aus welchem sie gemacht sind. Bestehen sie aus gutem Glas, das keinen großen Temperaturschwankungen oder Stößen ausgesetzt ist, so werden dieselben dauernd brauchbar bleiben. Wo jedoch die Zellen durch den Betrieb von Fahrzeugen bewegt werden, kann man nur Hartgummi- oder Holzzellen anwenden. Holzzellen werden von der Säure leicht angegriffen und zerstört, man kleidet sie daher gewöhnlich mit Blei aus und macht sie aus Teakholz oder anderem harten Material, das sich nicht wirft, wenn es in Paraffin gekocht oder mit Pech überzogen wird, bevor man das Blei einlegt. Solche Zellen pflegen, wenn sie gut behandelt und außen gut trocken gehalten werden, lange Jahre zu halten.

Zuweilen wendet man auch Hartgummi- oder Ebonitzellen an, sie sind jedoch teurer und nicht so dauerhaft. Mitunter hat man auch Zellen aus Hartblei und verschiedenen anderen Materialien mit mehr oder weniger Erfolg anzuwenden versucht. In jedem Falle ist die Haltbarkeit der Zellen von geringerer Bedeutung als die Haltbarkeit der Platten. Die Dauerhaftigkeit der Platten ist die Lebensbedingung der Accumulatoren und wenn wir von der Lebensdauer derselben sprechen, so pflegen wir nur an die Platten zu denken. Die Ursache, welche die Haltbarkeit der Platten verkürzt, haben wir bereits besprochen und wir haben gesehen, daß oft die Behandlung derselben mehr als ihre Konstruktion und Beschaffenheit des Materials bei der Lebensdauer mitsprechen. Dicke Platten pflegen besser zu halten als dünne; dies ist jedoch nur so zu verstehen, als kleine Partikelchen allmählich zu Boden fallen und die Platten allmählich in ihrem Volumen verändern. Diese Korrosion findet allmählich an der Oberfläche der Platten nach innen zu statt, die natürlich bei starken Platten nicht den Einfluß ausübt wie bei dünnen. Dicke Platten sind dann vorteilhafter, 1. wenn die Kosten des Materials geringer sind als die Kosten der Herstellung, und 2. wenn Gewicht und Raum weniger

Digitized by Google

von Bedeutung sind. Die Kosten des Materials können jedoch auch die Kosten der Herstellung übersteigen, das verbrauchte Material alter Platten hat oft beinahe denselben Preis wie das neue Material. Unter diesen Umständen ist es mitunter besser, die Platten oft zu erneuern als ihr Volumen zu vergrößern. Gewicht und Raum der Accumulatoren spielen bei elektrischen Betrieben und Fahrzeugen oft eine große Rolle. In diesen Fällen pflegt man die Platte so leicht zu machen, als es Haltbarkeit und Konstruktion nur irgend gestatten, ohne Rücksicht auf Kosten der Arbeit und Preis des Bleies. Wir müssen nämlich hierbei immer die Energie mit in Rechnung ziehen, welche zum Betriebe des toten Gewichts der Zellen bei der Fortbewegung des Fahrzeuges nötig ist. Die richtige Ökonomie ist erreicht, wenn die Abnützung der Batterien den Kosten der Triebkraft des Fahrzeugs gleichkommt. Bei Verminderung des Gewichts des Materials vermindern wir auch die Energie der Platten oder das Verhältnis, in welchem der Strom verbraucht wird, da die Dauer der Platten zum großen Teil proportional der geleisteten Arbeit ist. In jedem Falle erreichen wir eine gewisse Grenze, die in jedem einzelnen Falle in Rücksicht gezogen werden muß. Wo das häufige Auswechseln der Platten wenig Umstände macht, ist ein Teil der Schwierigkeit in Bezug auf die Haltbarkeit überwunden. Das häufige Erneuern der Platten ist wenig umständlich, da man es systematisch ausführt, wie zum Beispiel bei Straßenbahnwagen, während bei Beleuchtungsanlagen eine Störung dadurch leicht herbeigeführt würde. Man muß daher für stationäre Anlagen möglichst dauerhafte Platten anwenden.

8. Haltbarkeit und Vergeudung von Energie.

Wir wollen eine überschlägliche Rechnung anstellen, um den relativen Verlust bei Betrieb von Straßenbahnwagen mit Accumulatoren zu ermitteln, indem wir zunächst die Raumfrage als weniger wichtig außer acht lassen. Nehmen wir an, daß die Triebkraft auf horizontaler Bahn 26 ℳ per Ton beträgt (11,793 kg per Ton), wenn der Wagen in Bewegung ist, daß man jedoch zum Anfahren 100 ℳ per Ton (45,359 kg per Ton) nötig hat, es seien ferner einige geringe Steigungen und Kurven vorhanden, die etwa 60 ℳ per Ton (27,215 kg per Ton) fordern. Wir erhalten dann durchschnittlich per Ton 52 ℳ (23,587 kg per Ton) für den Betrieb auf gewöhnlicher Bahn bei der Geschwindigkeit von 7 Miles (11,26 km per Std.) Die von 1000 kg Gewicht der Zellen unter den obigen Voraussetzungen abgegebene Triebkraft ergeben $\frac{5280 \times 7 \times 52}{60 \times 33000} = 9{,}097$ H.P. an den Triebrädern.

Digitized by Google

Hat man an dem Vorgelege 80% Nutzeffekt, desgl. 80% am Motor, 75% bei den Accumulatoren und 90% bei der Lademaschine, so ergiebt das einen totalen Nutzeffekt von 33% zwischen den Triebrädern und der Dampfmaschine, sodaß wir zur Erzeugung der obigen Triebkraft auf den Schienen $\frac{0{,}97}{0{,}33} = 2{,}94$ oder 3 H. P. der Primärdynamo benötigen.

Der Preis einer H. P.-Std. wechselt ganz bedeutend mit dem Preise der Kohle, der Arbeit und besonders mit der Größe der Maschine. Rechnen wir die Kosten einer Dampf H. P. zu 240 M. per Jahr bei großen Maschinen, eingerechnet alle Nebenausgaben, so kosten 3 H. P., sagen wir für 15 Std. den Tag, 720 M. im Jahr. Für diese Summe können wir 3 Tons neues Blei bei gegenwärtigem Preise verkaufen, oder wir können diese Summe in Arbeitslohn verbrauchen. Rechnet man z. B. 40 Pfennig als Lohn für Gießen, Eintragen der aktiven Masse und Montage, so würde die obige Summe von 720 M. genügen, um 2160 Platten in neue umzuwandeln. Wenn wir an Gewicht sparen, sparen wir auch an Kraft, so daß wir die höchste Ökonomie erzielen, wie oben angeführt wurde, wenn die zum Fortbewegen eines Wagens nötige Energie gleich ist den Kosten der Erneuerung alter Platten. Wir können jedoch nicht die ganze Menge, welche ursprünglich zu den Platten verwendet wurde, wiedergewinnen, wenn auch das Gewicht der alten Platten dasselbe ist wie das der neuen, denn es ist ja ein gewisser Verlust bei der Umwandlung des Peroxyds und Sulfats zu metallischem Blei vorhanden, der etwa 30—40% in Geld beträgt, Arbeit und Feuerung in den Schmelzöfen mit eingerechnet.

Alle obigen Zahlen sind natürlich nur annährend richtig, genauere Zahlen kann man nur dann angeben, wenn alle Faktoren bekannt sind, und unter den Hauptfaktoren sind zunächst zu rechnen: 1. die Größe des Gesamtgewichts des Wagens, 2. die Beschaffenheit des Schienenweges und die Fahrgeschwindigkeit, 3. die Anzahl der von einer Ladestelle versorgten Wagen und endlich die Kosten der Feuerung, Arbeit und des sonstigen erforderlichen Materials.

Änderungen der Säuredichte bei verschiedenen Temperaturen.

In Tabelle III und IV Seite 111 und im Diagramm Fig. 61 Seite 112 haben wir gezeigt, wie die specifische Schwere verdünnter Schwefelsäure im Verhältnis zu der Größe der Ladung in einer Zelle sich ändert. Wir gaben Beispiele für 3 Zellen von gleicher Größe und Kapazität mit Säure von 1,100°, 1,125° und 1,200° Dichtigkeit Wasser als 1,00 angenommen. Es war jedoch hierbei auf den Einfluß der Temperatur keine Rücksicht genommen. Wir wollen diesen Gegenstand nunmehr von einem anderen

Digitized by Google

Gesichtspunkte aus betrachten und zwar die Eigenschaften der Säure ohne Rücksicht auf den elektrolytischen Einfluß. Alle Flüssigkeiten verändern ihre Dichtigkeit mit dem Wechsel der Temperatur, diese Thatsache muß in Betracht gezogen werden, wenn genaue Versuche mit Accumulatoren gemacht werden. Man hat Tabellen verschiedener Lösungen aufgestellt, jedoch die graphische Darstellung hat gegen Tabellen insofern einen Vorteil, als sie weitere Rechnungen überflüssig macht. Die nachfolgenden Diagramme in

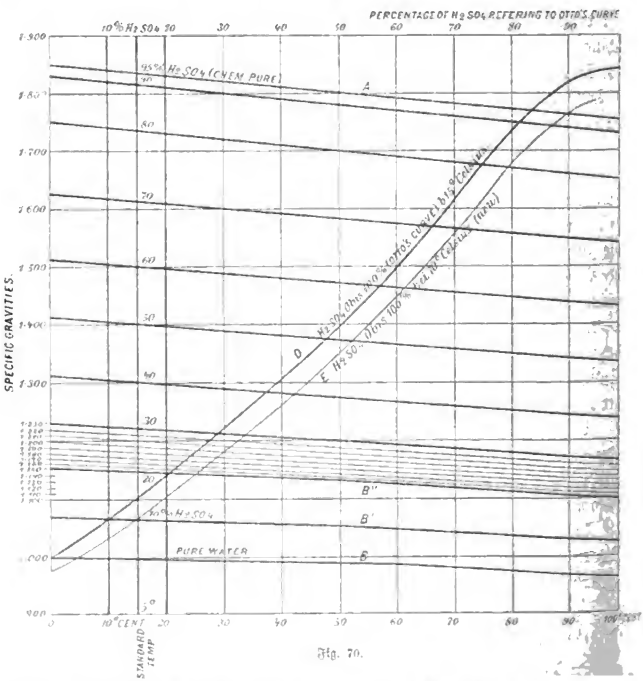


Fig. 70.

Fig. 70 sind von Herrn Frederic Reckenzaun in New-York entworfen.

Es ist hier das spezifische Gewicht als Ordinaten und die Temperatur als Abscissen aufgetragen. Zunächst wurde reine konzentrierte Schwefelsäure von 1,842 spez. Gew. einem Versuche unterworfen, die zunächst auf 0^0 abgekühlt und dann allmählich auf 100^0 C. erwärmt wurde. Die Dichtigkeit wurde sorgfältig alle 5^0 gemessen und in dem Diagramm als

Kurve A aufgezeichnet. Sie bildet praktisch eine gerade Linie im oberen Teil der Zeichnung. Die Kurve B ganz unten stellt die Änderungen der Dichtigkeit von reinem Wasser dar. Zwischen diesen Extremen liegen die Kurven von verdünnter H_2SO_4. Die Prozente konzentrierter Säure sind auf der Linie der normalen Temperatur von 15° angegeben. Gewöhnlich ist die Dichtigkeit verdünnter Säure in Accumulatoren zwischen 1,150° und 1,230°, diese ist in dem Diagramm um je 10° fortschreitend angegeben.

Dr. Otto's Kurve D ist mit Hilfe der Tabelle IX gleichfalls berechnet, jedoch wurde hier der Prozentsatz reiner Säure als Abscissen und das spezifische Gewicht wie zuvor als Ordinate genommen, diese Kurve entspricht einer Temperatur von 15° C. Man kann natürlich eine beliebige Anzahl solcher ähnlicher Kurven ausführen, so entspricht z. B. die Kurve E einer Temperatur von 70° C.

Die Kurven zwischen AB, die einander nahezu parallel laufen, wurden von Herrn Frederic Reckenzaun durch Versuche bei verschiedenen Temperaturen ermittelt. Sie sind für Arbeiten in Sekundärbatterieen sehr nützlich. Sie geben z. B. ein leichtes Mittel an die Hand, die äußerste Dichtigkeit von frisch gemischter Säure zu bestimmen, was Zeitverlust verhindert, weil man nicht zu warten braucht, bis die Mischung auf eine gewisse Temperatur sich abgekühlt hat, so daß man dann wieder von neuem mischen müßte, um die gewünschte Dichtigkeit zu erhalten. Es sei z. B. verdünnte Säure nötig von 1,150 bei 15° C., beim Mischen aber jedoch die Flüssigkeit bei einer Temperatur von 70°, dann müssen wir sie so mischen, daß sie 1,117° hat, was bei 15° C. 1,150° nach der Abkühlung ergiebt. Es ist zu beachten, daß die Linie B für reines Wasser mehr gekrümmt ist, als B^1, die 10% Säure entspricht, B^{11} ist wieder weniger gebogen als B^1 u. s. w., bis wir zur Linie A kommen, die beinahe ganz gerade ist.

Tabelle IX.

Säuregehalt bei verschiedener Dichtigkeit bei 15° Celsius nach Dr. Otto.

Prozent H_2SO_4	Spezifisches Gewicht	Prozent SO_3	Prozent H_2SO_4	Spezifisches Gewicht	Prozent SO_3
100	1842	81,63	23	1167	18,77
40	1306	32,65	22	1159	17,95
31	1231	25,3	21	1151	17,4
30	1223	24,49	20	1144	16,32
29	1215	23,67	19	1136	15,51
28	1206	22,85	18	1129	14,69
27	1198	22,03	17	1121	13,87
26	1190	21,22	16	1136	13,06
25	1182	20,4	15	1106	12,24
24	1174	19,58	14	1098	11,42

Digitized by Google

In Accumulatoren-Fabriken wie in Accumulatoren-Anlagen bezieht man die fertig verdünnte Säure von der nötigen Dichtigkeit von Säurefabriken. Dies ist ganz gut, wenn Gewicht und Raum der Säurebehälter die Kosten des Transports nicht wesentlich erhöhen. In manchen Fällen jedoch fällt die Fracht sehr ins Gewicht und dann muß man sich die Säure selbst mischen. Häufig ist auch alte Säure wieder auf den richtigen Säuregehalt zu bringen und in diesen Fällen ist die Tabelle wie das Diagramm sehr bequem. Die gewöhnlichen Messungen des sp. Gew. der Säure haben wenig Wert, wenn man nicht auch zu gleicher Zeit die Temperatur bestimmt. Es ist allgemein Gebrauch, die Ablesungen am Hydrometer zu notieren, ohne die geringste Rücksicht auf die umgebende Atmosphäre, und man wundert sich nachher, wenn die Angaben bei gleicher elektrischer Behandlung von einander abweichen.

10. Wirkung der Säuredichte auf die Spannung.

Während die Spannung von Blei-Peroxyd und Blei zusammen nur ungefähr 2 Volt ausmacht bei normalen Verhältnissen, so haben wir gesehen, daß bei einer neuen, frisch geladenen Zelle sie 2,25 Volt beträgt, daß jedoch dieses Viertel Volt Überschuß sehr bald verschwindet. Wir haben gezeigt, daß das sp. Gew. der Säure gleichmäßig mit dem Wachsen der Ladung des Accumulators steigt (s. Fig. 61). In Fig. 65 wurde gezeigt, daß die Spannung beim Laden mit konstantem Strom nicht ganz genau proportional der aufgespeicherten Energie ist, daß also auch das Steigen und Fallen der Spannung nicht genau mit dem sp. Gew. des Elektrolyten sich ändert.

In der Electrical Review teilt Sir David Salomons mit, daß das sp. Gew. der Säure beim Laden steigt, oder auch durch Hinzufügen von Säure, daß die Spannung höher und höher wird, bis sie ihre Grenze erreicht hat. Da dieser Ansicht nicht widersprochen wurde, konnte man glauben, daß sie von den Elektrikern geteilt wird. Die Vermehrung des sp. Gew. des Elektrolyten bis zu einem gewissen Grade kann jedoch nur den Erfolg haben, den inneren Widerstand der Zellen zu verringern und das würde die Potential-Differenz ein wenig erhöhen, es erhöht jedoch nicht die Spannung der Batterie im gleichen Maße. Praktisch ist kein Unterschied in der Spannung von Zellen mit verschieden starker Säure, wenn sie alle gleichmäßig geladen und gleich gemessen sind. Die Kapazität und Konstanz eines Blei-Accumulators ist materiell beeinflußt durch die Stärke der Säure, die er enthält. Natürlich würde die Wirkung einer Zelle aufhören, sobald der Elektrolyt zu reinem Wasser reduziert wäre, ganz gleichgültig, wie hoch die Ladung ursprünglich gewesen sein mag. Es ist daher

notwendig, die Dichtigkeit und die Menge der Säure nach der Menge des Bleies zu bemessen, auf welche sie einwirken soll.

Chemische Änderungen zufolge der Stärke der Säure.

Die Herren Gladstone & Tribe machten Versuche zur Bestimmung der Menge des Sauerstoffs, der von den positiven Platten bei verschiedener Säurestärke festgehalten wird. Sie brauchten Platten von ungefähr 12 qu-Zoll (78,0 quem) Oberfläche, die ungefähr mit 1 Amp. geladen wurden. Aus diesen Versuchen ging hervor, daß sehr starke Säure nicht so günstig für die Einwirkung ist als die verdünnte (1 : 10), daß jedoch zwischen diesem Verhältnis und demjenigen von 1 zu 500 bezüglich des festgehaltenen Sauerstoffs kein zu großer Unterschied besteht. Bei einer Schwefelsäure mit einem Teil Wasser vermischt, war die Menge des gebrauchten Sauerstoffs, folglich auch die Korrosion beinahe doppelt so stark, während die chemische Wirkung durchaus verschieden war. Auf manchem Teil der Elektroden sah man ganz deutlich gelb und braun gefärbte Oxyde, auf anderen Teilen eine weiße Substanz, die leicht abfiel und zerstäubt in der Flüssigkeit herabsank. Diese weiße Substanz enthielt nach der Analyse SO_4 entsprechend 73,6% Blei-Sulfat. Unter der Voraussetzung, daß dasselbe aus zweimal $2\,Pb\,SO_4$, $Pb\,O$ zusammengesetzt ist, was 73,1 % entspräche. Da man das Blei-Über-Oxyd durchaus braucht und die Korrosion der Platten soviel als möglich vermieden werden muß, wird es klar, daß diese starke Verdünnung der Säure nicht ins Extrem getrieben werden darf, auch haben wir gesehen, daß es mitunter bei Accumulatoren vorkommt, daß die ganze Säure der verdünnten Lösung entzogen wird. Es wird dann das Blei einfach in Prot-Oxyd-Hydrat verwandelt und also ohne irgend welchen Nutzen angegriffen.

Säuredichte und Widerstand.

Es scheint, als ob sehr starke und sehr schwache Säure nicht allein einen zerstörenden Einfluß auf die chemische Aktion ausübt, sondern daß sie auch zu gleicher Zeit ohne Not den innern Widerstand der Batterie vermehrt. Man muß daher am besten das sp. Gew. in engen Grenzen halten, um ein gutes Resultat zu erzielen. Nach zahlreichen Versuchen sind wir zu dem Ergebnis gelangt, daß es am vorteilhaftesten ist, eine derartige Säuremischung anzuwenden, daß ihr sp. Gew. bei voller Ladung der Zellen 1,200° nicht übersteigt.

Daß die Säure unter Umständen auch bei Betriebsstörungen eine Rolle spielt, ist an einer anderen Stelle d. B. ausführlich erörtert worden.

Digitized by Google

Tabelle X.

Spezifischer Widerstand von verdünnter Schwefelsäure.

Spezifisches Gewicht	Prozentgehalt Gewicht Schwefelsäure	Temperatur ° C.	Spezifischer Widerstand oben per kbcm
1,003	5	16,1	16,01
1,018	2,2	15,2	5,47
1,053	7,9	13,7	1,884
1,089	12,0	12,8	1,368
1,147	20,8	13,6	0,96
1,190	26,4	13,0	0,871
1,215	29,6	12,3	0,83
1,225	30,9	13,6	0,862
1,252	34,3	13,5	0,874
1,277	37,3	—	0,93
1,348	45,4	17,9	0,973
1,393	50,5	14,5	1,086
1,493	60,6	13,8	1,549
1,638	73,7	14,3	2,786
1,726	81,2	16,3	4,337
1,827	92,7	14,3	5,32

Nach Mathießen (Tab. X) hat Säure von 1,215 ungefähr den geringsten sp. Widerstand, darüber und darunter steigt derselbe allmählich. Es ist nicht zu vergessen, daß das Gesamt-Volumen der Säure im gewissen Verhältnis zum Volumen der aktiven Masse stehen muß, wie dies schon früher erwähnt ist. Nehmen wir 1,200 als Maximum des sp. Gew., so erzielen wir den geringsten Widerstand, und da das Volumen der Säure größer ist als das Volumen der Platten, so fällt das sp. Gew. niemals bis auf ein gefährliches Minimum, vorausgesetzt natürlich, daß die Zellen niemals ungeladen längere Zeit stehen bleiben.

11. Wirkung der Temperatur auf die Spannung der Batterie.

Beetz und Robinson haben unabhängig von einander die Wirkung der Wärme auf die Spannung der Zellen untersucht und haben gefunden, daß dieselbe sich mit dem Steigen der Temperatur vermindert. Beetz zeigte, daß die Spannung bei 20° C. 2,216 Volt war und, sobald die Temperatur erhöht wurde, die Spannung sank. Anfangs langsam und dann schneller, bis sie beim Siedepunkt 1,904 Volt betrug. Bartholdy untersuchte die Spannung der Polarisation in einer Zelle von verdünnter Säure mit Platin-Elektroden und fand, daß dieselbe bei 5° C. 2 Mal so hoch war als bei der Siedetemperatur; man muß also die Accumulatoren kühl halten.

Digitized by Google

In dem sehr strengen Winter von 1888 wurden in Philadelphia mit einer Batterie Versuche auch im Frost angestellt.

Es wurde eine Zelle der freien Luft bei 0° 24 Stunden lang ausgesetzt, dies steigerte das sp. Gew. der Säure nur um wenige Grad. Die Spannung blieb beinahe konstant. Die Zelle war voll geladen und die Säure hatte 1,185 sp. Gew. Ein anderer Versuch wurde in New-York gemacht mit einer Zelle bei 10° F. unter 0 (= —14° C.), jedoch ohne Einfluß auf die Zelle. — Während des Schneesturmes im März desselben Jahres an der kanadischen Grenze waren einige Zellen vollständig gefroren, welche unter einem Eisenbahnwagen befestigt waren. Die Zellen waren während der Fahrt durch ihren Gebrauch für die Beleuchtung beinahe entladen. Die Temperatur war 20° F. unter 0 (= —7,0° C.), auch sie hatten keinen Schaden genommen.

12. Versuche mit Straßenbahnzellen.

Während des Monats Dezember 1887 wurde eine Reihe von Versuchen mit Straßenbahnzellen zum Betrieb elektrischer Wagen angestellt. Einige dieser Versuche wurden mit dem Wagen Nummer 3 auf dem großen Terrain der Electric Car Company in Philadelphia in Amerika und andere Versuche mit einem zweiten Wagen auf derselben Versuchsbahn und auch in den Straßen der genannten Stadt ausgeführt. Beide Wagen waren von verschiedener Größe und verschieden konstruiert. Sie sind daher bei den weiteren Ausführungen der Versuche durch Nummern bezeichnet. Der Bauhof, auf welchem die Schienen gelegt waren, bildet einen unregelmäßigen viereckigen Raum. Es waren auf demselben die Geleise derart gelegt, daß 4 Kurven entstanden, 2 mit einem Radius von 50 Fuß (15,20 m) 1 für 33 Fuß (10,03 m) und 1 für 100 Fuß (30,4 m). Das ganze Geleise hatte eine Länge von 1005 Fuß (305.52 m) als in sich zurücklaufende Schleife. Wir wollen in der Folge diesen Weg „einen Umlauf" nennen. Im Anschluß zu der 33 Fuß-Kurve war eine Steigung von 1 zu 20, die dann wieder in ein Gefälle von 6 zu 100 überging und hier sich an die Kurve von 100 Fuß Radius anschloß.

Wagen Nummer 3 enthielt 116 Zellen, welche 2 Motoren, System Reckenzaun, mit Strom versorgten. Jeder der Motoren saß auf einem Lenkschemel; das Gesamtgewicht des Wagens mit Batterie betrug 7,4 Tons. Die Batterie allein wog 2,41 Tons, der Rest entfiel auf den Wagen, die Motoren, das Vorgelege und die Passagiere.

Drei wohlgeschulte Leute wurden in folgender Weise bei den Versuchen angestellt. Ein Mann handhabte Umschalter und Bremse vorn am Wagen. Er versah also den Dienst des Wagenführers und hatte darauf

Digitized by Google

zu achten, daß der Wagen auf der Ebene mit der richtigen Geschwindigkeit lief, daß er im Gefälle nicht zu schnell ging, in den Steigungen nicht zu langsam, und die schärfsten Kurven mit Sicherheit durchfuhr. Der zweite Mann mit einer Uhr in der Hand, hatte die Anzahl der Umläufe, welche der Wagen gemacht hatte, sorgfältig zu notieren und das Voltmeter in Zwischenräumen zu beobachten. Der dritte Mann hatte die schwierigste Aufgabe, nämlich, das Ampèremeter abzulesen und die Ablesungen so schnell wie seine Geschicklichkeit es nur gestattete zu notieren. Es muß bemerkt werden, daß auf solcher Versuchsbahn, die nicht mehr als höchstens 200 Fuß (60,80 m) grade Strecke hatte, die verbrauchte Energie fortwährend wechselte. Es wurde ein höchst empfindliches Ampèremeter fast aperiodisch hergestellt, so daß der Mann während eines Umlaufs, der 1,45 Minuten dauerte, 41 Ablesungen machen konnte. Dies ergiebt ca. eine Ablesung auf 2 Sekunden und war hierzu schon eine große Geschicklichkeit notwendig. Es wurde sehr wenig angehalten, da es hauptsächlich darauf ankam, die Anzahl der Miles festzustellen, welche der Wagen mit einer Ladung der Accumulatoren auf dieser schwierigen Bahn machen konnte, und zwar sollte die Spannung der Zellen nicht mehr als 10 % sinken. Die Spannung wurde jede halbe Stunde abgelesen, zu Beginn gab die ganze Batterie 227,36 Volt, wenn der Wagen auf der ebenen Strecke lief, so daß also per Zelle 1,975 Volt entfiel. Am Ende des Versuches zeigte die Batterie 205,42 Volt; es ergab sich also eine Differenz von 22 Volt zwischen Anfang und Ende. Nahe auf dem höchsten Punkt der Steigung wurden etwa 80 Amp. gebraucht, wobei die Spannung ungefähr 14 Volt weniger betrug, als auf der ebenen Strecke; sie stieg jedoch sofort wieder, sobald der Stromkreis beim Herabfahren unterbrochen oder auf der ebenen Strecke auf seine normale Größe beschränkt wurde.

Die Temperatur der Luft war zwischen 30 und 60 F. (= — 1° bis + 15° C.). Die Schienen waren trocken und ziemlich rein, es wurden 331 Umläufe von je 1005 Fuß in genau 8 Std. ausgeführt, was also einem Gesamtwege von 63 Miles (101,36 km) oder annähernd 8 Miles (12,87 km) per Stunde betrug. Auf der Karte der Bahn wurde ausgemessen, daß der Wagen 5,438 Miles (8,74 km) im Radius von 33 Fuß; 10,4 Miles (16,73 km) im Radius von 50 Fuß und 4,918 Miles (7.91 km) im Radius von 100 Fuß gemacht hatte. Die Summe der Steigungen betrug 5,656 Miles (8,50 km) und die Summe der aufwärts gefahrenen Strecken 5,128 Miles (8,25, km) während die auf gerader ebener Bahn durchfahrene Strecke 22,46 Miles (36,13 km) war.

Ungefähr 13000 Beobachtungen wurden notiert, aus denen die mittlere Stromstärke zu 18,5 Amp. ermittelt war. Im Gefälle und noch ein gut

Stück weiter ließ man den Wagen durch seine eigene Schwere ohne Antrieb laufen. Nach Verlassen der 33 Fuß Kurve und Anfahren in der Steigung stieg der Strom allmälich von 40 auf 80 Amp. auf ebener Strecke schwankte er zwischen 10 und 15 Amp. Unter ebener Strecke ist hier nicht eine absolute Ebene zu verstehen, da der Erdboden verschiedene Unebenheiten hatte, doch gleichen sich dieselben aus, so daß man sie als eine ebene Strecke betrachten konnte.

Die verbrauchte Energie betrug also im Durchschnitt $216 \times 18{,}5 = 3996$ Watt oder 5,35 H. P., und für die ganzen 63 Miles 42,8 H. P.-Std.

Der größte Kraftbedarf in einem Augenblick, welchen die Batterie zu liefern hatte, war $213 \times 80 = 17049$ Watts oder 22,84 H. P. Jede Wagenmile (1,609 Wag.-km) kostet also in diesem Falle 0,663 H. P.-Std. was also sehr leicht in Geld ausgedrückt werden kann, wenn man die Kosten einer H. P.-Std. kennt. Wir sehen also aus dem Obigen, daß die nutzbare Stromstärke der Accumulatoren 148 A.-Std.. betrug. Ehe der Betrieb begann, wurde das sp. Gew. in jeder Zelle bestimmt, es betrug durchschnittlich 1,186°. Gleich nach Zurücklegen der 63 Miles oder 8 Std. Arbeit wurde die Säure wieder gemessen und ergab im Durchschnitt 1,130°. Sie war also um 56° gefallen, was also 1,3° per H. P.-Std. oder annähernd 0,89 per Wagenmile (1,609 Wag.-km) beträgt.

Die verrichtete Arbeit kann auch in Tonmiles ausgedrückt werden, also $7{,}4 \times 63 = 466{,}2$ Tonmiles (730,11 Ton-km), wofür 42,8 H. P.-Std. oder 10,88 Tonmiles (17,50 Ton-km) per H. P.-Std. gebraucht wurden. Nach den Versuchen wurden die Accumulatoren wieder so lange geladen, bis die Säure 1,190 zeigte und die Gasentwicklung lebhaft wurde. Die durchschnittlich gebrauchte Energie beim Laden war 6181 Watt auf 7,5 Std. = 62,14 elektrisch H. P.-Std. Die Zellen waren nicht neu, sie haben jedoch für die geschilderten Versuche 6 Monate lang sehr gut funktioniert.

Da wir hier ausschließlich mit Versuchen über Accumulatoren zu thun haben, ist es nicht notwendig, die Konstruktion der Motoren, des Vorgeleges und anderer mechanischer Vorrichtungen an den Wagen zu schildern. Für solche, welche diese Einzelheiten interessieren, verweise ich auf meinen Vortrag über den elektrischen Betrieb von Fahrzeugen, E. T. Z. Januar 1886 sowie auf mein Buch „Elektrische Kraftübertragung", A. Hartleben, Wien, 3. Auflage, ursprünglich verfaßt von Japing. Der Nutzeffekt, die Haltbarkeit der Batterie ist natürlich beeinflußt durch den Nutzeffekt des Getriebes für den Wagen, es werden daher einige Angaben hierüber am Platze sein. Wagen Nummer 3 hatte 2 Lenkschemel von je 3 Fuß 8 Zoll (1.116 m) Länge, die also verhältnismäßig kurz waren und in den Kurven

Digitized by Google

eine große Lenkbarkeit gestatteten. Die Spurweite für die Schienen in Philadelphia ist 5 Fuß $2^1/_4$ Zoll (1,577 m). Die Räder waren die dort üblichen und nach der flat rail Type gebaut. Die von den Motoren erzeugte Kraft wurde durch eine Schraube ohne Ende auf je eine Axe übertragen, so daß jeder Lenkschemel seinen eigenen Antrieb hatte. Die zum Fahren notwendige wechselnde Stromstärke wurde durch Ändern des Widerstandes in den Motoren erzeugt. Jedes Magnetfeld enthielt 2 verschiedene Windungen, die durch einen Umschalter parallel oder hintereinander geschaltet werden konnten, und die Motoren konnten einzeln parallel oder hintereinander wieder eingeschaltet werden. Auf diese Weise war es möglich, ohne Anwendung künstlicher Widerstände und ohne große Stromvergeudung beim Anfahren die erforderlichen Veränderungen vorzunehmen. Wagen Nummer 3 war speziell für elektrischen Betrieb gebaut, er hatte folgende Abmessungen: Innere Länge 22 Fuß (6,688 m), ganze Länge inkl. der Plattformen 28 Fuß 2 Zoll (8,563 m), äußere Breite 6 Fuß 2 Zoll (1,824 m). Wagen Nummer 1 war hiervon ganz verschieden. Er enthielt nur einen Motor System Sprague, dessen Welle durch ein Zahngetriebe den Wagen bewegte, Achsenstand 6 Fuß (1,824 m), es wurde nur eine Achse angetrieben. Der Wagen war wie die gewöhnlichen Zweispänner gebaut. Sein Kasten war 16 Fuß (4,864 m) lang, mit Plattform 21 Fuß (6,384 m) lang. Er enthielt 84 gleiche Zellen wie Wagen Nummer 3, die unter den Sitzen sich befanden; das Gewicht des Wagens mit einer Anzahl Personen betrug 5,3 Tons. Die näheren Umstände, unter welchen die Versuche stattfanden, waren ungefähr die gleichen wie bei dem vorigen Versuch. Es wurden mit vollgeladenen Accumulatoren 231 Umläufe in $6^1/_4$ Stunde ausgeführt, was 43,8 Miles ausmacht. Hierzu brauchte man durchschnittlich 22,6 Amp. Der Maximalstrombedarf auf der 5prozentigen Steigung stieg bis 70 Amp. und betrug auf ebener Strecke 20—25 Amp. In den Kurven lief dieser Wagen infolge des größeren Achsenstandes langsamer, als Wagen Nummer 3 mit der gleichen Stromstärke. Die mittlere Geschwindigkeit betrug 7 Miles (11,263 km) per Stunde.

Das sp. Gew. der Säure in den Zellen war durchschnittlich 1,148 vor der Fahrt, es fiel am Ende auf 1,123, was also 610 Differenz auf 43,8 Miles (70,47 km) oder 1,415° per Mile ausmacht. Die gemessene Spannung betrug 157 Volt. Es ergab sich durchschnittlich 4,75 H. P. oder ein Verbrauch von 29,69 H. P.-Std., die von der Batterie geliefert waren, während das Maximum der Energie, das überhaupt beansprucht wurde, $70 \times 150 = 10500$ Watt oder 14 elektrisch H. P. betrug.

Rechnet man die geleistete Arbeit in Tomiles um, was für vergleichende Zahlen am rationellsten ist, so erhalten wir $5{,}3 \times 43{,}8 = 232{,}14$

Digitized by Google

Tonmiles und 26,69 H. P.-Std. oder rund 7,78 Tonmiles (12,41 Ton-km) auf die H. P.-Std.

Die per Carmile erforderliche Kraft war 0,678 H. P.-Std; die per Carmile verbrauchte Energie 0,678 H. P.-Std., also nicht viel geringer als bei Wagen Nummer 3. Die Differenz betrug 28 % weniger, wenn wir den Kraftverbrauch per Tonmile vergleichen. Das Wiederladen der Accumulatoren von Wagen Nummer 1 dauerte 6 Std. mit 5410 Watt oder 43,5 H. P.-Std. mit etwas Überladung. Wir finden, daß beim Betriebe von Straßenbahnwagen, bei denen die Batterien mit ziemlich hoher Stromstärke entladen werden, der Nutzeffekt der Zellen niemals über 70 % ausmacht; mißt man die Energie an den Klemmen der Batterie beim Laden und Entladen, dann beträgt der Nutzeffekt in A.-Std. oft bis 80 %, doch ist ja der letztere Modus, den Nutzeffekt auszudrücken, nur von geringem praktischen Wert. Ähnliche und sehr interessante Dauerversuche hatte auch Herr J. L. Huber in Hamburg angestellt, jedoch mit dem Unterschiede, daß die Messungen in einem 9 monatlichen praktischen Betriebe auf der Strecke nach Barmbeck ausgeführt wurden. Die Ergebnisse dieser Versuche habe ich bereits in dem oben aufgeführten Werke über Kraftübertragung mitgeteilt. Es möge hier nur die Tabelle über Kraftbedarf folgen.

Betriebsresultate

bei Straßenbahnen mit Accumulatorenbetrieb in Hamburg.

Wagen Nr.	Sitze	Stehplätze hinten	Stehplätze vorne	Bedienung	Personen Summa	Ladung Stunden Volt-Amp.	Entladung Stunden	Entladung km Fahrt	Per gefahren. km durchschnittlich Volt-Amp.
61	14	8	7	2	31	4019077,5	882^{1}	9080,127	442,59
86	20	6	4	2	32	1007447,8	236^{30}	2395,607	545,77

Gewichte.

Wagen Nr.	Wagen leer	Personen	Vollbesetzt inkl. Wagen
61	4830	2170	7000
86	6000	2240	8240

Mithin für 100 kg Gewicht und 1 km Weg waren an Energie erforderlich:

Wagen Nr.	Volt-A.-Std. leer	besetzt	im Mittel
61	9,16	6,32	7,74
86	9,10	6,62	7,86

Digitized by Google

Wirkung des Zustandes der Schienen auf die Batterie.

Es ist bekannt, daß der Zustand, in welchem sich die Schienen befinden, und die Witterung auf die zum Betriebe von Straßenbahnwagen erforderliche Kraft einen sehr großen Einfluß ausüben, der sich natürlich auch auf die Accumulatoren überträgt. Es ist Thatsache, daß die Straßen in Philadelphia beinahe die schmutzigsten in den Vereinigten Staaten sind. Es fliegt mitunter so viel Staub, daß man die Schienen kaum sehen kann, besonders da, wo stark frequentierte Strecken sich kreuzen und viel Marktwagen und anderes Fuhrwerk verkehrt. Nach einem tüchtigen Regenschauer erscheinen die Pferdebahngeleise einigermaßen rein, die Rinnen in den Schienen jedoch sind außer in den Kurven mit Schmutz angefüllt, der durch die Flanschen der Räder erst herausgequetscht wird. Infolgedessen kommt es vor, daß während oder nach einem Regen die zum Betriebe des Wagens erforderliche Energie geringer ist als bei trocknem Wetter. Wagen Nr. 1 hat Hunderte von Fahrten in der Stadt auf der Strecke Spruce, Pine, Walnut, Chestnut Street schon vor Beginn obiger Versuche gemacht, es wurden jedoch nur gelegentlich systematische Ablesungen vorgenommen. Bei einer dieser Gelegenheiten hatten wir nur ca. 12 Passagiere, das Wetter war feucht und infolgedessen günstig. Es wurden nur Ablesungen am Ampèremeter gemacht und zwar in derselben Weise, wie es bei den früheren Versuchen geschah, und darnach das Mittel für jeden Square berechnet. Die Straßen dieser Stadt sind bekanntlich in Squares geteilt. An jedem Square liegt eine Straßenkreuzung, so daß die verschiedenen Straßenbahnlinien sich rechtwinklig kreuzen und zwar in Abständen von 200 Yards (182,80 m).

Da unser Wagen schneller ging als der vor uns befindliche Pferdebahnwagen, so mußten wir ebenso oft anhalten wie jener, wenn er Fahrgäste aufnahm oder absetzte oder anderes Fuhrwerk an den zahllosen Kreuzungen passieren ließ. Wir gebrauchten bei einer Rundfahrt zwischen Graysferry, der Börse und wieder zurück nur durchschnittlich 21 Amp. Strom. Jeder einzelne Versuch dauerte 40 Minuten auf $3^1/_2$ Miles (5,63 km). Der Maximalstrombedarf in steigenden Kurven war 64,3 Amp.; wie unegal jedoch der Kraftbedarf selbst auf Linien mit mäßigen Steigungen ist, zeigen folgende Angaben: Beim Befahren der 10. Squares der Pine Street nach der Stadt war der Strom für jeden Square 45,31 Amp. zwischen der Vierten und Fünften Street, 40,31 zwischen der Fünften und Sechsten, 16,05 zwischen der Sechsten und Siebenten und dann 43,5 — 21,05 — 14,04 — 30,58 — 0,1653 — und 27,7 zwischen der Dreizehnten und Broadstreet. Auf dem Rückweg durch

Spruce Street Stadt abwärts, die parallel in der Nähe der Pine Street geht, betrug der Strom 9,16 Amp. zwischen Broad und Dreizehnter Street, 0 zwischen Dreizehnter und Zwölfter Street und ferner 13,84 — 24,28 — 28,0 — 189,4 — 24,04 — 20 und 17,15 zwischen Fünfter und Vierter Street.

Bei einer anderen Gelegenheit, wo die Schienen mit trocknem Schmutz bedeckt waren und der Wagen 23 Personen mit sich führte (bei der Fahrt Stadt abwärts und 40 Passagieren auf der Rückfahrt) war die Stromstärke zwischen denselben Straßen folgende: Von der Vierten Street nach der Broad Street 48,66 — 41,76 — 20,55 — 67,69 — 43,43 — 10 — 36,25 — 20,27 — 22,85 — und 33,33 Amp. Auf der Rückfahrt hatten wir 31,25 — 21,05 — 42,64 — 8,26 — 26,59 — 0 — 16,53 — 41,66 — 0 und 20,62 Amp. Die durchschnittliche Stromstärke des ganzen Versuches betrug 23 Amp. Ein weiterer Versuch wurde in der Weise angestellt, daß Wagen Nr. 3 den Wagen Nr. 1 zog, und es wurde sowohl die Stromstärke beim Ziehen wie beim Schieben ermittelt, während der Motor von Wagen Nr. 1 unthätig blieb. Bei jedem Umlaufe auf der Versuchsbahn wurde angehalten. Die Stromstärke bei jedem Umlaufe von 1,5 Minuten war 41,1 Amp. Das bewegte Gesamtgewicht war 12,3 Tons. Die Stromstärke auf der 5prozentigen Steigung und der Kurve von 33 Fuß war natürlich sehr hoch. Die Spannung schwankte beträchtlich bei der großen Last, welche die Lokomotive fortzuschaffen hatte. Vor dem Anfahren betrug die Spannung 234 Volt, im Moment des Anfahrens 220,5, in der Kurve von 33 Fuß 216 Volt, in der Ebene 225 Volt und kurz nach dem Anhalten und Ausschalten stieg sie sofort auf 230.

Es wurde ein weiterer Versuch gemacht mit Wagen Nr. 3 bei einer Last von 7,4 Tons, in dem die Anzahl der Zellen vermindert wurde. Die Zellen blieben im Wagen, damit das Gewicht nicht vermindert würde, sie wurden jedoch entsprechend ausgeschaltet. Die Versuchsstrecke war in gutem Zustande und der Wagen wurde nach jedem Umlauf von 1005 Fuß angehalten. Es wurde ein 4teiliger Umschalter gebraucht, jeder Teil gab eine andere Kombination mit dem Motor und für jede Kombination wurde die Geschwindigkeit des Wagens bestimmt. So nahmen wir z. B. 100 Zellen zu dem ersten Teil des Umschalters, während der Motorstromkreis den höchsten Widerstand hatte, also alle Windungen hintereinander geschaltet waren. Hierzu waren 2 Minuten und 30 Sekunden für den Augenblick des Anfahrens bis zum Stillstand mit der Bremse notwendig. Wir erzielten also eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 4,56 Miles (7,53 km), 1 Minute 50 Sekunden gleich 6,18 Miles (9,8 km) per Stunde, die Zeit für Anfahren und Anhalten mit eingerechnet.

Digitized by Google

Bei der Entladung von 90 Zellen war die Geschwindigkeit, wie folgt:

1.	Teil	des	Umschalters	2	Minuten	53 Sekunden,
2.	„	„	„	1	„	53 „
3.	„	„	„	1	„	20 „
4.	„	„	„	1	„	10 „

Bei 80 Zellen hintereinander ging der Wagen mit der ersten Stellung des Umschalters so weit ganz gut, bis er auf die Steigung 5,5% kam. Hier blieb er stehn. Selbst die Kraft aller Motor-Wicklungen hintereinander genügte nicht, bei der verminderten Spannung den Wagen über diese Steigung hinwegzubringen; die zweite Stellung des Umschalters gab jedoch genug Kraft und der Umlauf wurde in 2 Minuten 4 Sekunden vollendet. Die dritte Stellung ergab 1 Minute 35 Sekunden, die vierte ergab 1 Minute 20 Sekunden.

Bei Anwendung von 60 Zellen und 7,4 Tons Last, wurde der Umlauf mit Stellung 3 des Umschalters in 1 Minute 57 Sekunden und in der vierten Stellung, die eine sehr große Kraft ermöglicht, in 1 Minute 20 Sekunden vollendet.

Diese Versuche waren insofern wertvoll, als sie für jede Stellung des Umschalters die Geschwindigkeit zeigten, als auch die Wirkung einer verschiedenen Anzahl von Zellen. Für die übliche Geschwindigkeit und die zuvor beschriebenen Verhältnisse ergab sich das beste Resultat mit 100 Zellen bei Veränderung der verschiedenen Geschwindigkeit und Kraft.

Wirkung des Schnees auf die Zugkraft.

Mit Rücksicht auf die häufigen Schneestürme in den Vereinigten Staaten war der Wagen Nr. 1 mit Schneepflug und Drahtbürsten versehen worden. Die Pflugscharen waren an einem drehbaren Rahmen unter der Plattform des Wagens angebracht. Ein geringer Druck mit dem Fuß des Wagenführers genügte, um die Pflugscharen bis auf die Schienen zu senken. Gleich hinter den Pflugscharen, dicht hinter den Rädern des Wagens waren Bürsten aus steifem Stahldraht befestigt, die durch Gewichte so gesenkt werden konnten, daß sie auf den Schienen streiften. Der Pflug diente dazu, die Hauptmasse des Schnees fortzuschaffen, während die Bürsten die Schienenrinnen vor den Rädern reinigten. Eines Tages schneite es sehr stark, der Wagen wurde in Betrieb gesetzt und nur die Stahlbürsten und ein wenig Sand in den stärksten Steigungen angewendet; der Schnee lag $1\frac{1}{2}$ Zoll dick auf den Schienen. Für die erste Runde brauchte man 2 Minuten 8 Sekunden, die Schienen waren fast ganz gereinigt durch diese Fahrt, die Stromstärke war 40 Amp. Es

Digitized by Google

wurden 20 Umläufe mit je 1 Minute 35 Sekunden durchschnittlich gemacht bei 30 Amp. Stromstärke, während es die ganze Zeit heftig schneite.

Wir warteten nun, bis der Schnee in 4 Stunden 2 Zoll hoch lag; beim Anfahren wurde der Schneepflug, die Bürsten und Sand wie bei dem ersten Umlaufe angewendet. Die Stromstärke betrug 80 Amp. und die Zeit 2 Minuten 20 Sekunden. Jeder neue Umlauf brauchte weniger Zeit und weniger Strom, bis man schließlich auf die normalen Zahlen kam. Es zeigt dies, daß bei richtiger Handhabung und wo Wagen auf Wagen sich folgt, die Strecke reingehalten werden kann. Besonders die Anhäufung von viel Schnee verlangt im ersten Augenblicke schrecklich viel Energie, ohne Schneepflug und Bürsten wird derselbe zusammengedrückt und macht den Betrieb meistens unmöglich.

Ein anderer Versuch wurde in der Weise angestellt, daß man die Versuchsbahn 4 Zoll hoch mit Schnee beschaufelte, der dann fest getreten wurde. Der Wagen ging sehr schwer an, während die Pflugscharen und Bürsten sich vollständig eingruben. Jedoch durch kluges Vorgehen und Manövrieren des Wagenführers, nämlich durch Vorwärts- und Rückwärtsfahren und Anwendung von Sand aus der automatischen Sandbüchse schaffte der Wagen sich selbst Luft. Anfangs ging es nur langsam, da er nur wenige Zoll hin und her fahren konnte, aber allmählich schneller und besser, bis ein ziemlich reiner Schienenweg durch den ersten Umlauf erzielt war.

Ohne Pflugscharen und Bürsten ist es nicht allein sehr schwer, durch den Schnee vorwärts zu kommen, wieviel Kraft man auch zur Verfügung haben mag, sondern die Wagenräder entgleisen auch sehr leicht und gleiten über den zusammengetretenen Schnee, der mitunter so hart wie Eis wird, so daß er schließlich nur mit Hilfe von Schaufel und Hacken unter reichlicher Anwendung von Salz entfernt werden kann.

Ein gut konstruierter Ampèremeter ist ein besserer Indikator für die gebrauchte Kraft als ein Dynamometer, weil die geringsten Änderungen in der Zugkraft durch denselben im Augenblick angegeben werden, da derselbe keine Reibung noch Trägheit der Teile besitzt, welche die Änderung anzeigen. Durch sorgfältige Beobachtungen konnten wir die Wirkung der verschiedensten kleinen Hindernisse auf den Schienen bemerken. Es ergab sich, daß trockner Staub und Schnee die nötige Energie zum Betrieb verdoppelte und verdreifachte, gegen die Kraft bei reinen oder feuchten Schienen.

In Hamburg wurde bei Schneewetter bis zum Vierfachen der gewöhnlichen Betriebskraft gebraucht. Die nachfolgenden Fig. 71 und 72

Digitized by Google

zeigen deutlich den Kraftverbrauch an in den verschiedenen Monaten des Jahres. Die in diesem Diagramm fehlenden Tage waren Ruhetage, an welchen kein Betrieb stattfand, die dazu dienten, die Accumulatoren nachzusehen und alles wieder in stand zu setzen. Die graphische Darstellung giebt den durchschnittlichen Energieverbrauch für 1 km gefahrene Weglänge in Volt-A.-Std., und zwar betrug derselbe im Monat durchschnittlich:

Juli	392,16	Volt-A.-Std.	mit	Wagen	Nr. 61
August	354,72	„	„	„	„ 61
September	441,49	„	„	„	„ 61 resp. 86

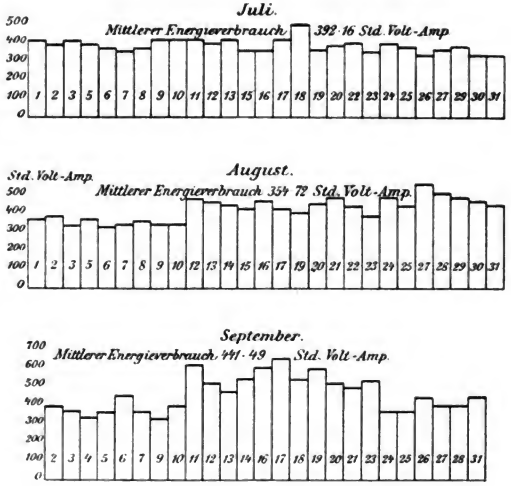


Fig. 71.

Oktober	417,87	Volt-A.-Std.	mit	Wagen	Nr. 61
November	701,92	„	„	„	„ 61 resp. 86
Dezember	561,374	„	„	„	„ 61 „ 86

Es wurde jede Woche ein Tag Pause gemacht, um Motoren und Accumulatoren gründlich zu revidieren. Diese höchst mühsame Zusammenstellung zeigt ganz klar, wie ungeheuer der Energieverbrauch mit der Witterung sich ändert. Während derselbe nämlich im Sommer bei schönem Wetter an zahlreichen Tagen nicht mehr als etwa 350 Volt-A.-Std.

Digitized by Google

per km gefahrene Weglänge betragen hat, stieg derselbe am 8. Dezember auf nahezu das Dreifache, nämlich 900 Volt-A.-Std.*)

In diesen Leistungen ist allerdings der Einfluß mit inbegriffen, welchen die Steigungsverhältnisse mit sich brachten. Herr J. L. Huber teilt ferner im elektrotechnischen Anzeiger vom 13. Februar 1890, S. 194 mit, daß unter Berücksichtigung aller Faktoren ein großer Prozentsatz der auf den Motor übertragenen Kraft durch Wärme nutzlos verloren ging.

Eine einfache Überlegung wird zeigen, daß es nicht vergeblich, sondern

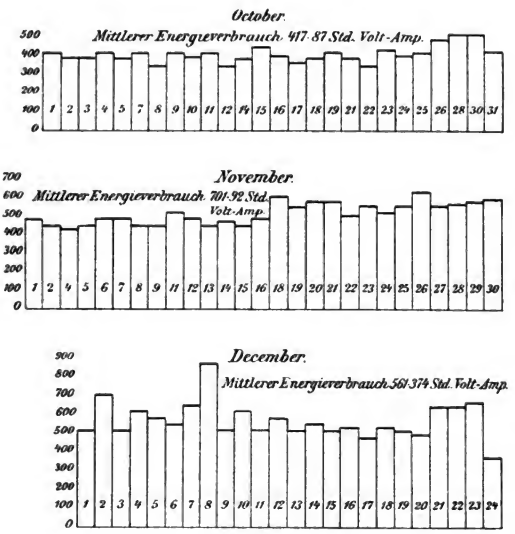


Fig. 72.

im Gegenteil sehr ökonomisch ist, den Zustand des Schienenwegs stets zu beaufsichtigen. Auch die kleinste Aufmerksamkeit auf dieses Erfordernis wird einen sehr großen Einfluß auf die Erhaltung des Materials und der Kraft ausüben. Straßenbahn-Ingenieure kennen zwar ziemlich genau diesen Einfluß, jedoch haben sie augenscheinlich noch niemals einen Zahlenwert für Reinheit der Schienen ermittelt, sonst würden sie gewissen-

*) s. Proceedings of the Institute of Civil Engineer London. Vol. XCII, 1887—88. Electrical Tramway in Hamburg by J. L. Huber.

Digitized by Google

hafter darin sein. Ein elektrischer Wagen wird mit demselben Aufwand an Energie 2mal so lange laufen auf reinen, feuchten Schienen, als auf solchen mit trocknem Staube und mit Schmutz angefüllten Rinnen. Bei Straßenbahnwagen mit Accumulatoren-Betrieb wird die sorgfältige Aufmerksamkeit auf den Zustand des Fahrweges auch ganz besonders Wert haben, da die Lebensdauer der Zellen mehr als verdoppelt werden kann bei dem halben Verhältnis der Entladung. Diese Thatsachen sprechen für sich, sie sind eine Lebensbedingung des Accumulatoren-Betriebes und wir brauchen hierüber weiter nichts auszuführen. Vermindern wir den Widerstand der Fahrbahn, dann können wir das Gewicht der Batterie vermindern, erhöhen die Haltbarkeit, und die Kosten der Schienenreinigung wird mehr als wiedergewonnen durch die viel geringere Abnützung der Platten, die Ersparnis an Triebkraft kann man als einen reinen Gewinn betrachten. Die Versuche in Hamburg ergaben per 100 kg Wagengewicht und 1 km Weg (Centralblatt für Elektrotechnik, Band 10, S. 259) 7,8 Volt-A.-Std. Es wurde mithin gebraucht für den Wagen von 8500 kg Gewicht 663 Volt-A.-Std. und für den anderen Wagen von 10 500 kg Gewicht 819 Volt-A.-Std. Diese Leistung bezieht sich auf die von der Dynamomaschine geleistete Arbeit zum Laden der Accumulatoren. Da jede gute Dynamomaschine per P. S. der Antriebsmaschine 600 Volt-Amp. leistet, so wäre erforderlich für den Wagen mit 30 Personen 1,10 P. S.-Std. per km und für den anderen mit 50 Personen 1,365 P. S.-Std. per km.

Auf einer Linie wie z. B. die von Hamburg nach Wandsbeck werden pro Tag 2900 zu 3000 Wagen-km gefahren; um diese Leistung mit Accumulatoren zu erzielen, würden 4000 P. S.-Std. erforderlich sein, also bei Arbeit Tag und Nacht der Ladestation eine Dampfmaschine von rund 200 P. S., deren Betrieb pro Std. und P. S., sämtliche Unkosten eingeschlossen, nicht mehr wie 7 Pfennige beträgt, so daß also für die Maschinenarbeit auf den gefahrenen Wagen-km bei den obigen Wagen 8 resp. 9 Pfennige kommen. Hierzu muß man noch nach den damals gemachten Erfahrungen 5 Pfennige für die Unterhaltung der Accumulatoren rechnen, so daß also die elektrische Zugkraft bei Accumulatoren-Betrieb pro Wagen-km 13 resp. 14,5 Pfennige kostet. Nach dem Jahresbericht der Straßenbahn-Gesellschaft hat der Maschinenbetrieb auf der Wandsbecker Linie ohne Amortisation und Verzinsung der Maschine für die Dampfmaschinen-Zugkraft pro 1 Wagen-km 14,6 Pfennige gekostet (nicht Zug-km).

Zum Vergleich mit Pferdebetrieb bemerke ich noch, daß für einen zweispännigen Wagen, mit Deckſitzen, der pro Tag 110 km fährt, mindestens 12 Pferde erforderlich sind (5 Gespanne und 2 Vorspannpferde),

Digitized by Google

deren Unterhaltung (s. Jahresbericht der Hamburger Straßengesellschaft) pro Tag und Pferd im Jahre 1887, dem billigsten Betriebsjahre 192,5 Pfg. gekostet hat, mithin für 12 Pferde 2310 Pfg. kostet; hiernach stellt sich der gefahrene Wagenkilometer bei Pferdebetrieb auf 21 Pfg. gegen 14,6 Pfg. bei Dampf und gegen 14,5 Pfg. bei Anwendung von Elektrizität; bei Dampf stellt sich der Betrieb noch höher, sowie keine zusammengekoppelten Wagen gestattet werden. Die Versuche in Hamburg, wie in Philadelphia, wie auch der Betrieb in Beßbrook haben gezeigt, daß die ermittelten Größen durchaus zutreffend sind. Daß der Accumulatorenbetrieb bis heutigen Tages im großen Stil noch nirgends durchgeführt ist, lag nicht allein in der früheren ungenügenden Haltbarkeit der Platten, sondern vor allen Dingen darin, daß die großen Pferdebahngesellschaften, die ja sehr schöne Dividenden genießen und deren Konzessionen nicht zu lange mehr laufen, keine Veranlassung hatten, bedeutende Mittel für Accumulatorenbetrieb aufzuwenden. In Nordamerika gestattete man außerdem ja die Anwendung oberirdischer elektrischer Leitungen, während man in Europa, besonders in Deutschland, im Geburtslande der elektrischen Eisenbahn, sich mehr abwartend verhielt und nicht eher an die Sache gehen wollte, ehe die Haltbarkeit der Platten nicht klar erwiesen sei. So kam es, daß der Reckenzaunsche Accumulatorenwagen, welcher schon im Jahre 1885 zu Berlin lief, bis Mitte 1892 der erste und einzige in dieser Stadt geblieben ist. Nachdem nun das Vertrauen zu den Accumulatoren größer geworden ist und die Ausführung des Projekts des Herrn Immeckenberg für eine große unterirdische Bahn in Berlin als drohende Konkurrenz der Straßenbahngesellschaften bevorsteht, fangen sie endlich an, zu weiteren Versuchen nunmehr Schritte zu thun. Der Berliner Wagen von 1885 hatte in Bezug auf Details in den Umschaltern und Motoren als auch in den Accumulatoren noch unverkennbare Mängel. Hätte jedoch die Straßenbahngesellschaft die Versuche damals schon energisch unterstützt, so würde man heute bereits nach langjährigen Erfahrungen einen gesicherten Accumulatorenbetrieb hierselbst besitzen. Die ganze Frage der Accumulatoren wie auch die Verwendung für den elektrischen Straßenbahnbetrieb ist als durchaus gelöst zu betrachten und sie wird bei weiteren Fortschritten in kleinen Verbesserungen sich auch in kurzem kräftig entwickeln.

Betrieb elektrischer Boote.

Es ist schon viel gesagt und geschrieben worden über die Brauchbarkeit der Accumulatoren zum Betrieb von Booten. Nichtsdestoweniger ist die Frage des Gewichts der Batterie von in der Sache interessierten Personen dauernd vernachlässigt worden. Die Hoffnungen, welche einige Jahre

Digitized by Google

zuvor gehegt wurden und welche tiefen Eindruck auf die Armateure gemacht hatten, daß wir eines Tages Accumulatorenbatterien haben würden von nur leichtem Gewicht und großer Kraft, sind allmählich wieder verschwunden. Die Accumulatoren haben in konstruktiver Hinsicht seit dem Auftauchen des ersten elektrischen Bootes wohl Fortschritte gemacht, aber die Erwartungen in Bezug auf Verringerung des Gewichts sind nicht erfüllt worden. Von allen, welche dem Gegenstande eine ernstliche Beachtung geschenkt haben, wird zugegeben, daß die gegenwärtigen, sehr erfolgreichen Fortschritte durch eine lange Praxis erst erreicht wurden und daß man, ohne gewisse wesentliche Eigenschaften zu opfern, schwerlich davon abweichen darf. Für gewisse Zwecke, wo die Anlagekosten und die Abnützung nicht ins Gewicht fallen, kann man wohl ein wenig von den Möglichkeiten, welche die Natur bietet, abweichen.

Ehe ich weiter auf den Gegenstand eingehe, wollen wir kurz die Entwickelungsgeschichte der ersten elektrischen Boote wiedergeben.

Seit dem Jahre 1837, wo Jacoby auf der Newa ein Boot mit einer elektrischen Batterie versuchte, bis in unsere Tage geschah nichts, um diese Naturkraft in gedachter Richtung nutzbar zu machen. Erst am 13. März 1883 lief das elektrische Boot „Electricity", aus Eisen gebaut, auf der Themse. Es war 25' engl. lang, 5' breit und hatte eine Accumulatorenbatterie von 40 Zellen und eine Siemenssche Dynamomaschine als Elektromotor, welcher die Schiffsschraube trieb. Ihm folgte 1884 ein hölzernes Boot „Australia", ungefähr ebenso groß und ebenso ausgerüstet, jedoch mit Reckenzaunschem Motor. Später lieferte der bekannte Erfinder für die englische Regierung ein Schraubenschiff von 22' Länge und $4\frac{1}{2}$' Breite, welches man dem Torpedoschiff „Vernon" attachierte. Der „Duke of Bedford" von 24' Länge und 5' Breite repräsentiert das nächste elektrische Boot, welches der Yacht „Northumbria" beigegeben wurde.

In diesem Jahre erbaute die Firma Yarrow & Co. ein stählernes Boot zu Torpedozwecken für die italienische Regierung. Es ist 36' lang, $6\frac{1}{2}$' breit, wird durch einen Reckenzaunschen „Duplexmotor" getrieben, macht 8,43 Miles (= 15,61 km) pro Stunde und ist jetzt beständig zu Spezzia im Dienst.

Es folgte das elektrische Boot „Volta". Dasselbe hat 37' Länge und 6' 10" Breite. Es ist mit einer Batterie von 61 Zellen und einem Reckenzaunschen Duplexmotor ausgerüstet, d. h. es wirken zwei Motoren auf die Welle der Propellerschraube. Analog wie bei dem elektrischen Straßenbahnwagen wird die Fahrgeschwindigkeit dadurch verändert, daß man vermittelst eines eigentümlichen Umschalters stets die ganze Batterie in folgender Weise auf die beiden Motoren wirken läßt: langsam fahren

Digitized by Google

2 Motoren hintereinander, gewöhnliche Geschwindigkeit 1 Motor, größte Schnelligkeit 2 Motoren parallel zur Batterie, wobei die Schraubenwelle zwischen 600 und 1000 Touren per Minute macht. Bekannt ist die Fahrt dieses Bootes über den Kanal von Dover nach Calais und zurück. Eine Anzahl kleiner Boote wurde nun auch von anderen Firmen in verschiedenen Ländern erbaut. Heute hat man in London wie in Berlin Ladestationen errichtet, auf welchen die kleinen elektrischen Vergnügungsyachten nach Bedarf Strom einnehmen können.

Wir wollen nun zu unserem Thema zurückkehren. Theoretisch ist eine verhältnismäßig große Energiemenge notwendig, um metallisches Blei von seinen Oxyden auszuscheiden. Nach Professor Reynholds gebraucht man, wenn man jedes Atom zu chemischer Thätigkeit bringen könnte, hierzu 360000 Fuß Pfund (49680 mkg) per Pfd. Blei (0,453 kg, wir können jedoch in Accumulatoren das Material nicht in so fein verteiltem Zustande verwenden, wir müssen einen Träger, der auch zugleich Leiter ist, verwenden, es ist Säure und ein entsprechendes Gefäß notwendig, und dies zusammen bringt das Gewicht bis auf den 10fachen Betrag, den wir nach der chemischen Äquivalentrechnung gebrauchen. Jahrelange praktische Erfahrungen haben uns zur Überzeugung gebracht, daß Accumulatoren von genügender mechanischer Widerstandskraft und Dauerhaftigkeit nicht viel mehr als 7 Watt-Std. per Pfund (0,453 kg) des Materials leisten können. Es ist hier das Material der Platten, also Bleioxyd, ferner die Säure, die Zellen und deren Verbindungen mit einbegriffen, und diese Zahlen gelten unter der Voraussetzung, daß das Verhältnis der Entladung nicht mehr als $^3/_4$ Amp. per Pfund (0.453 kg) des Accumulators oder annähernd 1 Amp. per Pfund der Platten beträgt. Bei dieser Größe ist es möglich, durchschnittlich eine Spannung von mindestens 1,87 Volt per Zelle für die ganze nützliche Entladungszeit zu erreichen.

Ein Vergnügungsboot von 30 Fuß (9,12 m) Länge, 6 Fuß (1,82 m) Breite und 2 Fuß (0,608 m) Tiefgang kann man in ruhigem Wasser 6 bis 7 Miles (11—13 km) in einer Stunde mit einem Verbrauch von ungefähr 3000 Watts betreiben, wenn man eine geeignete Popellerschraube anwendet. Ein 6 Stunden währender Betrieb würde eine Batterie von 2571 Pfund (1164,6 kg) Gewicht d. h. 60 Zellen, jede von 43 Pfund (19,47 kg) benötigen.

Die Stunde 7 Miles zu machen, ist eine mittlere Schnelligkeit man kann natürlich sehr viel schneller fahren, jedoch nur mit Aufwand einer bedeutenden Energie. Jede Mile mehr verlangt eine Steigerung, die in keinem Verhältnis zur erreichten Geschwindigkeit steht. Um dies zu erläutern, wollen wir ein Beispiel über sorgfältig ausgeführte Versuche in

Digitized by Google

Bezug auf die Geschwindigkeit auf einer abgemessenen Bahn zu Long Reach im April 1886 anführen, welche auf Veranlassung der Herren Jarrow & Co. und in Gegenwart eines Marine-Attachées der italienischen Regierung gemacht wurden. Das Versuchsboot war aus Stahl und nach erprobter Form gebaut, 36 Fuß lang (10,94 m) und 6 Fuß (1,82 m) breit. Die Batterie bestand aus 73 Zellen. Bei Einschaltung von 53 Zellen erreichte man eine mittlere Geschwindigkeit von 7,51 Miles (13,90 km) in der Stunde. Bei Hinzufügung von 20 Zellen betrug die mittlere Geschwindigkeit 8,43 Miles per Stunde, was nur eine Vermehrung der Fahrtgeschwindigkeit von 0,92 Miles per Stunde (1,665 km) mit 37,7% Erhöhung der Spannung ausmacht. Theoretisch ändert sich die zum Betriebe eines Bootes erforderliche Kraft mit dem Cubus der Geschwindigkeit. Es kann daher große Geschwindigkeit nur mit verhältnismäßig großer Stromstärke, d. h. also mit sehr schneller Entladung der Zellen, also mit einer frühen Abnützung der Platten erreicht werden. Es liegt kaum ein Vorteil darin, daß man die Schwere der Batterie noch weiter erhöht als das Gewicht des Fahrzeugs und der lebendigen Last beträgt. Die Grenze der Geschwindigkeit bei elektrischen Booten ist also bestimmt durch die Grenze der Stromentnahme, welche der Accumulator zu irgend einer Zeit gestattet.

Was nun den von einer Batterie, welche 7 Watt-Std. per Pfund Gewicht (0,453 kg) geben soll, betrifft, so finden wir, daß es ungefähr 1 kb-Fuß (0,028 kbm) per 1000 Watt-Std. beträgt. Die Zellen für das vorhin erwähnte Boot von 30 Fuß Länge mit einer Kapazität von 3000 Watts für 6 Std. würde darnach also einen Raum von 18 kb-Fuß (0,504 kbm) einnehmen, das macht bei einer Höhe der Kasten von 1 Fuß (0,304 m) einen Flächenraum von 18 qu-Fuß (1,6569 m). Kleinere Boote, die man unter die Kategorie der Launches rechnen muß, kann man mit Sicherheit durch Accumulatoren niemals mit einer größeren Geschwindigkeit als 15 Miles (27,78 km) per Stunde betreiben, wieviel man auch opfern möge. Die größte Weglänge, die man mit einer Ladung der Batterie in ruhigem Wasser bei einer Geschwindigkeit nicht unter 4 Miles (7,40 km) die Stunde zurücklegen kann, kann man mit Sicherheit auf 100 Miles (185,2 km) angeben. In diesen Grenzen jedoch findet man ein weites Feld für weitere Verbesserungen, sodaß man in vielen Plätzen angefangen hat, Ladestationen an den Flüssen anzulegen, um die elektrische Schiffahrt zu begünstigen.

Wirkung der Steigung der Schraube auf die Stärke der Entladung.

Die Schraube der Boote bildet einen der schwierigsten Teile. Natürlich kann man für ein Schiff eine Schraube irgend welcher Art zum Vorwärts-

Digitized by Google

treiben im Waſſer anwenden, doch wird man auch ſehr verſchiedene Erfolge damit erzielen. Um die Vorteile einiger Schrauben zu ermitteln, machte Herr Reckenzaun Anfang der 80er Jahre ſchon mit 3 verſchiedenen Schrauben an einem kleinen Boote Verſuche. Es wurden dabei dieſelbe Batterie und derſelbe Motor gebraucht und doch erzielte man große Unterſchiede der Stromſtärke und in der Umdrehungszahl. Jede Schraube hatte nur 2 Flügel, die Dimenſionen der 3 Verſuchsſchrauben waren folgende:

Maaße in engliſchen Zollen	A	B	C
Durchmeſſer	19,875	18,75	17,75
Mittlere Steigung	12,9	12,25	11,5
Flächeninhalt der Scheiben der Flügel . . .	94	76	59
Geſamtfläche der Scheiben der Flügel	314	276	247
Ausgedehnter Querſchnitt der Flügelfläche . .	103	82	66

Tabelle XI zeigt die mittleren Zahlen der Meſſungen bei jeder Schraube. Es geht daraus hervor, daß die verrichtete Arbeit nicht im Verhältnis ſteht zu der aufgewendeten Energie. Die bezügliche Arbeit der Schraube iſt ungefähr proportional der Anzahl der Umdrehungen, die bezüglich aufgewendete Energie wechſelt mit der Stromſtärke.

Tabelle XI.

Nummer der Verſuche	Umdrehungen per Minute	Bezügliche Arbeit der Schraube	Stromſtärke in Amp.	Anzahl der Zellen	Elektriſch H.P.	Relative elektriſche Energie
			A			
1	599	1,00	48,8	40	5,76	1,00
2	630	1,05	57,2	45	7,6	1,30
3	830	1,38	63,5	50	9,36	1,62
			B			
4	684	1,00	40	40	4,71	1,00
5	748	1,09	46	45	6,1	1,29
6	880	1,28	52	50	7,66	1,62
			C			
7	738	1,00	29	36	3,07	1,00
8	786	1,06	30	41	4,35	1,41
9	840	1,13	43	46	5,6	1,82

3. Transportable Zellen.

Die Anwendung transportabler Zellen für den häuslichen Gebrauch zum Betriebe einiger oder weniger Glühlampen zur Beleuchtung von Eiſenbahnwagen, Poſtwagen und Omnibuſſen, ſowie für militäriſche und ärztliche

Digitized by Google

Zwecke hat sich mit der Zeit weiter ausgebildet und, eine kleine besondere Industrie erzeugt. Wie schon in einem voraufgehenden Kapitel mitgeteilt wurde, vereinigt man diese Art Zellen zu 2—4 Stück mit tragbaren Handhaben, so daß man sie leicht vom Platz fortschaffen und wenn nötig, am anderen Orte wieder laden kann. Besonders für die Beleuchtung von Eisenbahnzügen hat man schon seit Jahren Versuche mit Accumulatoren angestellt und hierfür die verschiedensten Systeme in Vorschlag gebracht. Es sind hier 2 verschiedenartige Einrichtungen getroffen worden. Bei dem einen System ladet man die Zellen vor der Abfahrt der Züge und giebt sie dem Wagen mit, es ist dies zwar eine sehr bequeme Art der Verwendung, da das Laden mit einer stationären Maschine ja die wenigsten Kosten und Schwierigkeiten macht; bei dem internationalen Verkehr jedoch wird es notwendig, daß ein Wagen, der zum Beispiel zwischen Berlin und Wien verkehrt, wo möglich für die Hin- und Rückfahrt den Strom mit bekommt, und dadurch werden natürlich die Zellen schwerer und größer. Diese Einrichtung hat außerdem noch den Vorteil, daß jeder Wagen eine Beleuchtungsanlage für sich hat, so daß das Licht nach dem Abhängen eines Wagens in diesem nicht verlöscht. Das andere System giebt dem Eisenbahnzuge eine Lade-Einrichtung mit, so daß die Zellen während der Fahrt immer wieder geladen werden und eigentlich nur beim Stehen des Zuges den Lampen Strom geben. Dieses System ist ziemlich kompliziert und kostspielig; die Praxis hat auch noch nicht entschieden, welchem von beiden man den Vorzug geben wird.

Eine ausgedehnte Anwendung machen neuerdings die Ärzte von kleineren Zellen, um bei Operationen eine Platinschlinge zum Glühen zu bringen oder einen Elektrisierapparat zu betreiben. In einigen Armeen macht man auch Versuche, die Accumulatoren für die Minenzündung nutzbar zu machen. Es ist nicht notwendig, hier weiter auf dieses Thema einzugehen, da die Accumulatoren für diese kleinen Zwecke alle mehr oder minder nach Art der Taschen-Accumulatoren oder der Telegraphenzellen eingerichtet und benutzt werden.

Die Verwendung der Accumulatoren für transportable Glühlampen hat Herr Ch. Pollack zu einem Spezialstudium sich gemacht und besonders eine elektrische Grubenlampe von sehr handlicher Form konstruiert, D. R. P. Nr. 59096. Die Accumulatoren von der kleinsten Type sind in einem Ebonitgefäß untergebracht (Fig. 57b), welches durch eine Scheidewand in 2 Fächer geteilt wird, in deren jedem sich ein Element befindet; das Gefäß ist durch einen Deckel aus gleichem Isoliermaterial von besonderen Einrichtungen abgeschlossen und mit einer Gummischeibe abgedichtet. Auf dem Deckel selbst befindet sich die Glühlampe, welche zu erhöhter Sicherheit

Digitized by Google

noch mit einem Glascylinder umgeben ist. Die ganze Konstruktion und Handhabung ist so gewählt, daß die Lampe mit absoluter Sicherheit funktionieren muß und jegliche Gefahren der Bergwerksbetriebe bei sonst offnem Licht dadurch vermieden werden. Die Fig. 57b zeigt die fertige Lampe in Ansicht und einen Schnitt durch den Kasten. Das Gewicht ist 1625 gr und bei Anwendung von einer Aluminiumarmatur 1600 gr. Die Lampe giebt eine konstante Helligkeit von 0,8 Kerzen während einer Dauer von 10—12 Stunden nach jeder Ladung.

4. Sammler im Telegraphenbetriebe.*)

Am 9. Oktober 1889 wurden ca. 50 ober- und unterirdische Leitungen des Haupttelegraphenamtes zu Berlin für Accumulatorenbetrieb eingerichtet. Hierzu verwendete man 25 Zellen von je 50 A.-Std. für 9 Amp. Entladung. Die Leitungen brauchten 35, 40 und 50 Volt. Das Laden erfolgt auch während des Telegraphenbetriebes. Diese kleine Batterie ersetzte 1400 galvanische Zink-Kupferelemente, wurde jedoch nur etwa mit dem 150. Teil des zulässigen Entladungsstromes beansprucht.

In der Anwendung von Sammlern anstatt galvanischer Elemente liegt eine bedeutende Ersparnis. Ein Primärelement von 5 Ohm innerem Widerstand und 1 Volt Spannung liefert günstigstenfalls im äußeren Kreis $^1/_{20}$ V.-A. Eine Sammlerzelle die 2 V. hat und mit 1 A. entladen wird, giebt 2 V.-A., also das 40fache. Man kann daher mit einer geringen Anzahl (ca. 100) von Sammlern 5—6000 Primärelemente ersetzen.

Die Zink-Kupferelemente der deutschen Reichstelegraphie kosten etwa 0,50 M. Unterhaltung per Stück und Jahr. Sie liefern im Hughesbetriebe etwa 0,015 Amp., im Morsebetrieb ca. 0,013 Amp. bei 570 Ohm Widerstand eines Morseapparates. Genauere Angaben über die Betriebskosten sind später in diesem Kapitel gemacht.

Bereits im Jahre 1887 wurde auf die Verwendung der Accumulatoren als Ersatz für die Telegraphierbatterien in den Fachblättern hingewiesen. Seit dieser Zeit sind von verschiedenen Telegraphenverwaltungen Versuche angestellt worden, an welche sich die seit 1889 begonnenen Versuche der Reichstelegraphenverwaltung Deutschlands anschließen.

Die in dem Ingenieurbureau des Reichspostamtes in Berlin angestellten Vorversuche lieferten derartig günstige Ergebnisse, daß nunmehr das Haupt-Telegraphenamt mit einem Versuche im großen zur Speisung

*) Elek. Zeitschr. Berlin 1889. S. 546. Ebenda S 41—46 Dr. C. Heim über die Verwendbarkeit der Accumulatoren im Telegraphenbetrieb. J. Sack, die Accumulatoren. 1892. A. Hartleben, Wien.

Digitized by Google

der Arbeitsstromleitungen für Hughes- und Morsebetrieb beauftragt wurde. Die erforderlichen Einrichtungen waren am 30. August 1890 beendet und es wurde an diesem Tage zu Telegraphierströmen nur noch der Accumulator benützt.

Zum Betriebe von 237 Leitungen waren bisher 6000 Zink-Kupfer-Elemente nötig, welche durch eine Batterie von 80 Accumulator-Elementen ersetzt werden konnten. Eine Batterie von 40 Zellen war zur Reserve bereit gestellt. Von diesen Leitungen entfielen 93 auf den Hughes-, 144 auf den Morsebetrieb.

Jede Zelle einer Accumulatoren-Batterie besteht aus drei positiven und vier negativen Platten, System Tudor, und besitzt eine Kapazität von 62 A.-Std. für 10 Amp. Entladestrom.

Die Accumulatoren-Batterie umfaßt drei Gruppen zu je 40 Elementen, von denen zwei Gruppen in Hintereinander-Schaltung verwendet werden. Soll nun eine Gruppe ausgewechselt werden, so wird zur Vermeidung von Störungen die neue Gruppe parallel zu der zu ersetzenden geschaltet und letztere dann fortgenommen. Es sind somit im ganzen 120 Elemente erforderlich.

In Betreff der umfangreichen Schaltungs- und Einrichtungsarbeiten, welche auf dem Hauptamte in Berlin getroffen werden mußten, verweise ich auf die E. Z. 1890 S. 629.

Um durch etwaige Kurzschlüsse ein Versagen der Batterien zu verhüten, sind Bleisicherungen eingeschaltet, welche bei einer Stromstärke von 5 Amp. abschmelzen. Sie sind zwischen zwei Klemmen für die Apparatzuführungen eingefügt.

In den Apparatzuführungen, und zwar vom Umschalter im Saal zum Apparat, befinden sich Ausgleichswiderstände. Sie sind auf 1 Ω für 1 Volt festgestellt, so daß z. B. in eine Zuführung für eine Leitung, welche einen Strom von 160 V. beansprucht, ein Widerstand von 160 Ω einzuschalten ist.

Es ist ferner noch ein Sicherheitswiderstand (für jede unterirdische Leitung je einer, für je fünf oberirdische Leitungen je einer) eingeschaltet, um ein Ansteigen der Stromstärke über 1 Amp. zwischen Umschalter und Batterieschalter zu verhüten.

Die gemachten Erfahrungen wurden als sehr günstig bezeichnet. Da die zu Versuchszwecken genommenen Zellen für den Telegraphen-Betrieb sich als zu groß herausstellten, so wurden Zellen von der Größe der gewöhnlichen galvanischen Elemente zu Versuchen herangezogen.

Es war allerdings nahe liegend, daß die großplattigen Elemente der Accumulatoren-Batterien nicht in dem Maße ausgenützt wurden, wie es

Digitized by Google

vom ökonomischen Standpunkte aus wünschenswert sein mußte; trotzdem durch Versuche von weittragender Bedeutung, zumal wohl in keiner anderen Telegraphenverwaltung der Frage, ob die Accumulatoren mit Vorteil die gewöhnlichen Telegraphierbatterien ersetzen können, in so eingehender Weise näher getreten wurde, wie seitens der deutschen Verwaltung.

Die nunmehr zu Versuchszwecken konstruierten Accumulatoren, welche von Grawinckel*) beschrieben und besprochen sind, wurden zum großen Teile nach den Vorschlägen des Telegraphen-Ingenieurbureaus in Berlin einerseits von der Accumulatoren-Fabrik in Hagen i. W., andererseits von den Berliner Accumulatorenwerken (E. Correns & Co.) in Berlin ausgeführt. Die in den Fig. 73—75 dargestellten Formen zeigen die Konstruktion mit Tudorplatten. Alles und jedes Isoliermaterial im Innern des Glasgefäßes, welches zur Verhütung eines kurzen Schlusses, bezw. zur Erhaltung eines gleichmäßigen Abstandes der einzelnen

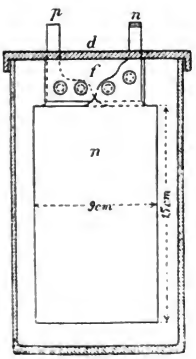


Fig. 73.

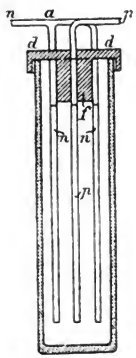


Fig. 74.

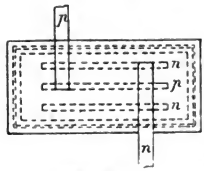


Fig. 75.

Elektrodenplatten diente, ist fortgefallen. Das Element ist erheblich verkleinert, besteht aus einer positiven und zwei negativen Elektroden, hat eine Kapazität von 10—12 A.-Std. und einen Entladestrom von 1—2 Amp.

Das von Correns & Co. hergestellte Element zeigen die Fig. 76 bis 78 in Vorder-, Seiten- und Oberansicht.

Die beiden negativen Platten n n sind durch zwei entsprechend umgebogene, beim Guß der Platten mitgebildete Bleibügel s s, welche auf dem Boden des schmalen Glases mit ihrem unteren Teile aufliegen, miteinander verbunden. Die dicht an den Gefäßwänden anliegenden negativen Platten erhalten so einen festen Stand. Die positive Platte p besitzt an der

*) E. Z 1891. S. 555.

Digitized by Google

oberen Kante zwei halbkreisförmige durchbohrte Ansätze, durch welche Ebonitstäbchen gesteckt werden; mittelst dieser hängt die positive Platte auf den beiden negativen Glasstreifen t t, welche in Nuten der Platten bis zum Boden des Glasgefäßes eingeschoben werden, verhindern die Näherung der Elektroden. Die Elektroden sind 11 cm breit, 14 cm hoch, 4—5 mm stark; die Gläser haben 19 cm Höhe, 12,5 cm Breite und 4,2 cm lichte Weite. Der Abstand der Elektroden untereinander beträgt 15 mm, die Entfernung der positiven Platte vom Boden des Gefäßes 25 mm.

Die Fig. 76—78 zeigen die zweite Form. Bei dieser hängen die drei Elektroden an einem aus isolierender Harzmasse gebildeten Deckel d, welcher über die Glaswandung nach unten greift und das Glasgefäß vollständig absperrt. An einem, an dem Deckel angegossenen, aus derselben Masse wie letzterer bestehenden massiven Stück f sind die beiden negativen Platten n n mittels Bleinieten be-

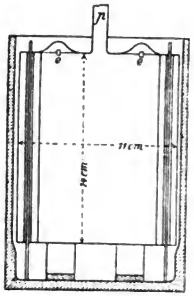


Fig. 76.

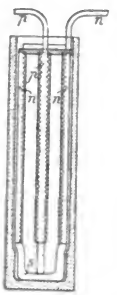


Fig. 77.

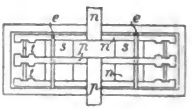


Fig. 78.

festigt; die Fortsätze der Platten greifen durch den Deckel und vereinigen sich bei a in dem Polstreifen. Die positive Platte p greift durch den Deckelansatz f, mit dem sie ebenfalls vernichtet ist, hindurch und endet im Polstreifen. Es wird beabsichtigt, Deckel mit Ansatz aus Porzellan fertigen zu lassen.

Die Elektroden sind 9 cm breit, 15,3 cm hoch, 4 mm stark; die Gläser 21 cm hoch, 13 cm breit und haben 4,5 cm lichte Weite. Der Abstand der Platten untereinander beträgt 11 mm, der Abstand vom Boden des Gefäßes 20 mm.

Bei beiden Formen kann ein Kurzschluß zwischen den Elektroden durch herabfallende Masse nicht leicht eintreten.

In Bezug auf Einfachheit der Konstruktion und der Behandlung entspricht die in den Fig. 76—78 dargestellte Form den vom Ingenieur-

Digitized by Google

bureau aufgestellten Bedingungen besser als die erste Form; ob dies in betreff der Sicherheit ebenfalls zutrifft, müssen längere Versuche lehren. Es kann überhaupt noch kein endgültiges Urteil über eine der beiden Formen gesprochen werden, dies wäre mangels eingehender Versuche sehr verfrüht und man fiele damit in denselben Fehler wie jene, welche die Anpassung der Sammler für den Telegraphenbetrieb als leicht erklärt oder die volle Sicherheit der Sammler als feststehend behauptet haben. Bei der neuesten Konstruktion der für die Zwecke der Telegraphie von Herrn Correns gewählten Form sind die negativen Platten durch zwei seitliche Bügel gegeneinander versteift, alle drei Platten sind in einen starken Porzellandeckel gesteckt und darin mit Harz fest vergossen.

Beide Formen entsprechen bezüglich ihrer elektrischen Eigenschaften im allgemeinen den gestellten Bedingungen.

Die ersten Versuche, welche das Ingenieurbureau mit anderen kleinen Formen von Sammlern (Konstruktion Correns) anstellte, wurden auch in der Richtung ausgedehnt, daß die Ladung durch eine Kupferbatterie erfolgte. Hierbei zeigte es sich, daß bei bestimmten Betriebsverhältnissen die Ladung kleiner Sammler durch Kupferelemente mit wirtschaftlichem, unter Umständen erheblichem Nutzen möglich ist (vgl. E. Z. 1891 S. 128).

Diese überraschende Thatsache, die ihre Erklärung wesentlich in den sehr geringen Beschaffungskosten der Kupferelemente und den geringen Unterhaltungskosten derselben findet, war geeignet, die Aussicht für allgemeinere Anwendung kleiner Sammler zu begünstigen. Denn eine überschlägliche Rechnung lehrt schon, daß man vom Sammlerbetrieb auch auf einem großen Telegraphenamt schwerlich wirtschaftliche Vorteile erwarten darf, wenn zur Ladung erst besondere Maschinen aufgestellt und bedient werden müssen, daß dagegen der Betrieb finanziell vorteilhaft sein kann, wenn die Elektrizität öffentlichen Werken entnommen wird. Für diese Entnahme kommen (abgesehen von wenigen Orten) nur größere Städte in Frage, es bleibt aber der Umstand erschwerend, daß die technischen Einrichtungen, mit denen das Amt auszurüsten ist, weder einfach noch billig sind, wenn sie der Sicherheit voll entsprechen sollen. Die Einrichtungen vereinfachen sich hingegen wesentlich, sobald die Ladung der erforderlichen Sammlerbatterie durch eine Kupferbatterie erfolgen kann. Sobald wir eine für diesen Zweck brauchbare Thermosäule besitzen, wäre die Möglichkeit des Ladens in bequemster Weise und an jedem Orte gegeben. Man beabsichtigt demnächst mit einem Thermoofen an die Öffentlichkeit zu treten, der aus Ringen besteht, von denen jeder 3 Amp. und 10 Volt giebt. Wenn auch der Nutzeffekt der Thermosäulen nur gering ist, wird man unter Umständen doch dieselben vorteilhaft verwenden können.

Digitized by Google

Namentlich für solche Ämter, wo es sehr darauf ankommt, für den Betrieb (z. B. Kabelbetrieb) Batterien von geringem inneren Widerstande zu besitzen und wo Kupferelemente in einfacher Hintereinanderschaltung als gemeinschaftliche Batterien jedenfalls nicht benützt werden können, ist die Ladung der Sammler durch eine Kupferbatterie von Bedeutung. Es läßt sich für jedes Amt unschwer übersehen, ob die Stromgebung wirtschaftlich von Vorteil ist. Nimmt man in beiden Fällen Aufsichts- und Generalkosten als gleich an, so berechnen sich die jährlichen Kosten für n Kupferelemente wie folgt:

1. Preis der n Elemente rund 0,70 M., davon 4% als Verzinsung	0,028 n M.
2. Unterhaltung einschließlich des Ersatzes der Gläser und Elektroden, abzüglich des Wertes des wiedergewonnenen Materiales 0,30 M. für das Element und Jahr . . .	0,300 n M.
3. Unvorhergesehene Ausgaben 5% der Summe unter 1 und 2	0,016 n M.
Zusammen	0,444 n M.

oder rund 0,35 n M.

Eine Rechnung über die Kosten der Sammler, welche zum Ersatz der n Elemente bestimmt sind, sowie der zur Ladung erforderlichen Kupferbatterie hat zu zeigen, ob der Betrag von 0,35 d M. erreicht wird.

Interessante Aufschlüsse liefern die Aufzeichnungen über den Stromverbrauch und die Unterhaltung der auf dem Haupttelegraphenamt aufgestellten Sammlerbatterie von 120 Tudorschen Zellen.

Grawinckel macht für einen Zeitraum von 151 Tagen (fünf Monate) die folgenden Angaben:

„Es wurden 8400 Kupferelemente durch die Accumulatorenbatterie ersetzt. Die von einem Aronschen gut regulierten Elektrizitätsmesser registrierte Strommenge, welche zum Laden in dem angegebenen Zeitraum angewendet wurde, betrug 1534,68 A.-Std. Die Kosten für diesen Verbrauch, für Unterhaltung der Accumulatorenbatterie, sowie für eine 20% betragende Tilgung der Beschaffungskosten für die Zellen ergaben rund 340 M.

Die Verzinsung und Amortisation der gesamten übrigen technischen Einrichtung (4% Zinsen und 5% Amortisation) erfordert 325 M., so daß die gesamten Kosten sich auf 665 M. belaufen.

Die Unterhaltungskosten für die Kupferbatterie von 8400 Elementen einschließlich der Amortisation und abzüglich des Wertes der gewonnenen Materialien betragen für einen fünfmonatlichen Zeitraum rund 930 M.

Da der Preis eines Elementes sich in Berlin auf nur 65 Pfg. stellt, so erwachsen an Zinsen zu 4% gerechnet rund 90 M., so daß die

Digitized by Google

gesamten Kosten 1020 M. betragen. Schlägt man die für das Warte- und Aufsichtspersonal erwachsenden Kosten für beide Stromquellen (mit Rücksicht auf die der Sammelbatterie zu widmende peinliche und stetige Aufsicht) vorläufig gleich hoch an, so hat sich der Betrieb mit Kupferbatterien um mehr als 50% teurer als der Sammlerbetrieb, bezw. der letztere um 35% billiger als der erstere gestellt. Dieses außerordentlich günstige Ergebnis hat wesentlich seinen Grund darin, daß nicht besondere Maschinen zur Ladung benutzt werden, sondern letztere durch die Elektrizitätswerke erfolgt.

Die nutzbaren Ampèrestunden gegenüber den aufgewendeten stellen sich auf durchschnittlich täglich 5,32 gegen 10,16; es werden mithin 52,4% wieder gewonnen. Dieser Verlust erscheint ziemlich bedeutend; zu einem Teile ist er darin begründet, daß trotz der angewendeten Maßregeln zur sorgsamen Isolierung der Zellen untereinander und gegen die Erde ein merkbarer Ausgleich stattfindet.

Bei den durch eine Kupferbatterie geladenen kleinen Sammlern wurden 68,4% der eingeladenen Mengen wieder gewonnen. Die kleinen Sammler haben sich in dieser Beziehung also wesentlich vorteilhafter als die großen Zellen verhalten, wobei indessen bemerkt werden muß, daß, da der Versuch mit den kleinen Sammlern sich auf wesentlich kürzere Zeit (39 Tage) erstreckt hat, bezüglich der nutzbaren Strommenge sich vielleicht ein günstigeres Ergebnis herausstellte. Immerhin darf das gesamte Ergebnis der Versuche nicht allein als technisch, sondern auch als finanziell so befriedigend angesehen werden, wie es kaum erwartet werden konnte und auch nicht erwartet worden ist."

Was den Schlußsatz von Grawinckel anbetrifft, so war ein finanziell günstiges Resultat ganz bestimmt zu erwarten, da bekanntlich Elemente mit sehr geringem inneren Widerstande sich sehr gut zu einer gemeinsamen Batterie für viele Leitungen eignen, weil bei solchen Elementen deren Widerstand gegen den äußeren Widerstand der Leitungen und Apparate in der Rechnung vernachlässigt werden kann.

Es giebt in diesem Falle eine Batterie stets dieselbe Strommenge an eine Leitung, ganz gleich, ob nur eine Leitung, ob gleichzeitig zwei oder mehrere, oder ob gleichzeitig sämtliche Leitungen gespeist werden.

Wie dem auch sei, die Versuche, welche seitens der deutschen Reichstelegraphenverwaltung über die Brauchbarkeit der Accumulatoren als Ersatz für die Telegraphierbatterien angestellt worden sind, haben sehr ermunternde Ergebnisse geliefert und werden sicherlich bei anderen Verwaltungen zu Versuchen anregen.

Daß die Reichspost nicht sofort mit der allgemeinen Einführung der

Digitized by Google

Accumulatoren in den Betrieb übergeht, kann nicht verwundern. Gerade bei Batterien ist die äußerste Vorsicht geboten.

Zudem ist auch in Betracht zu ziehen, daß Neuerungen in einem so großen Betrieb, wie es der deutsche Telegraphenbetrieb ist, mit Rücksicht auf die mit einer etwaigen Einführung verbundenen hohen Kosten nicht leicht zu nehmen sind, sondern genau und eine entsprechend lange Zeit dauernd und unter sorgsamster Beaufsichtigung geprüft werden müssen.

Was nun die Kostenberechnung anbetrifft, so ist bedauerlicher Weise der Preis der Accumulatorenbatterie von Grawinckel in der gemachten Berechnung nicht angegeben; auch fehlen die Kosten für die Entnahme des Stromes von den Berliner Elektrizitätswerken.

In technischer Beziehung würde ferner noch aufzuklären sein, wie die Schaltung für die Leitungen von verschiedenem Widerstande ist, da die Art und Weise der Schaltung des Widerstandes, wie dies in Nr. 49 der E. Z. 1890 angegeben wird, der Klarheit entbehrt. Auch wäre zur Beurteilung darüber, wie sich Abzweigungen gestalten, wie sich ferner die Batterie verhält, wenn dieselbe die Stromabgabe für eine Leitung plötzlich auf alle Leitungen ausdehnen muß, eine eingehende Erörterung wünschenswert.

Der nicht unerhebliche Verlust am Nutzeffekt kommt nun wohl weniger aus einer vielleicht noch nicht sorgfältigen Isolierung der Zellen, als daraus, daß die nicht beanspruchten Accumulatoren, wie dies auch auf dem Haupttelegraphenamt vorkommt, stets etwas von der aufgenommenen Energie verlieren.

Dieser Verlust an Energie kann in der letzt angegebenen Weise unter Umständen die Verwendung der Accumulatoren für kleine Anstalten unmöglich machen. Allerdings kann hier nur ein richtiges Urteil durch den praktischen Betrieb gegeben werden. Allein, da auf kleineren Anstalten bei Tage die Batterie nicht voll, bei Nacht gar nicht beansprucht wird, so kann bei nachlässiger Behandlung der Fall vorkommen, daß die Accumulatorenbatterie versagt und infolgedessen der ganze Betrieb gestört ist.

Die kleine Zelle, welche gegenwärtig verwendet wird, könnte insofern zu kurzem Schluß Anlaß bieten, als bei nicht sorgfältiger Behandlung, namentlich beim Einsetzen der Elektroden in das Glasgefäß, die unteren Enden der negativen Elektroden mit den positiven sich berühren. Um diesem Übelstande zu begegnen, ist die Verbindung der beiden negativen Elektroden untereinander nicht mehr über dem Deckel, sondern unter dem Deckel angebracht. Dieselbe kann auch noch tiefer gelegt werden, und es wird bei genügend starker Wahl des Verbindungsstreifens eine Berührung der Elektroden vollständig vermieden.

Digitized by Google

Man ist damit beschäftigt, noch eine kleinere Type zu Versuchszwecken für die Reichspost zu konstruieren, da nach Ansicht Grawinckels der Betrieb mit kleinen Zellen, abgesehen von dem erheblich niedrigeren Beschaffungspreis, in wirtschaftlicher Beziehung sich noch bedeutend günstiger gestalten wird.

Der Elektrotechnische Anzeiger bringt in seiner Nummer vom 26. Juni 1892 einen Vergleich über den Nutzen der Accumulatoren zum Telegraphenbetrieb im Vergleich zu den Leclanché-Elementen. Da derselbe von allseitigem Interesse sein dürfte, ist er hier in seiner ganzen Ausdehnung wiedergegeben.

Der Accumulator in der Telegraphie und das Leclanché-Element.

Die seitens der deutschen Reichstelegraphenverwaltung angestellten Versuche, die Accumulatoren als Telegraphierbatterien an Stelle der Zink-Kupferelemente zu verwenden, haben nach den in der E. Z. 1890 und 1891 veröffentlichten Berichten derartig günstige Ergebnisse geliefert, daß weitere Versuche mit verschiedenen Typen angeordnet sind.

Aus den verschiedenen Veröffentlichungen ist leider nicht zu entnehmen, wie sich die Abzweigungen an einer Accumulatorenbatterie gestalten; wie sich die Batterie verhält, wenn von der Speisung einer oder nur kleinen Anzahl von Leitungen plötzlich die Stromabgabe gleichzeitig an alle Leitungen stattfindet; wie sich endlich die Anlagekapitalien und Unterhaltungskosten gegeneinander verhalten. So hohes Interesse die Versuche der Reichstelegraphenverwaltung mit den Accumulatoren zu telegraphischen Zwecken nun auch in technischen Kreisen erregt haben, so ist doch eins nicht aufgeklärt, nämlich, weshalb sind mit Primärelementen, welche in derselben Weise wie die Accumulatorelemente mehrplattig eingerichtet werden können, nicht ebenfalls Versuche angestellt worden, durch Verminderung des inneren Widerstandes die Speisung einer verhältnismäßig hohen Anzahl von Leitungen gleichzeitig zu bewirken? Der nachteilige Einfluß des veränderlichen inneren Widerstandes der Elemente auf die Gleichmäßigkeit der Stromstärke, sofern derselbe gegen den äußeren Widerstand nicht vernachlässigt werden kann, ist zwar bekannt; es ist indessen lehrreich, sich durch Rechnung davon ein klares Bild zu machen.

Das in Deutschland allgemein gebräuchliche Zink-Kupfer-, auch Meidinger-Element genannt, hat eine elektromotorische Kraft von 1 Volt und einen inneren Widerstand von ca. 5 Ohm. Soll nun eine Batterie von

Digitized by Google

160 Elementen zur Speisung einer Anzahl von Leitungen verwendet werden, so wird diese Anzahl dadurch bestimmt, daß die Schwankungen in der Stromstärke für die Speisung einer einzigen, zweier, mehrerer bezw. sämtlicher Leitungen ein gewisses Maß nicht übersteigen, andernfalls am Morseapparat das den Beamten bekannte Tanzen des Schreibhebels entsteht bezw. am Hughes die Stromverzögerung. In beiden Fällen sind Verstümmelungen zu befürchten, wozu die Provinzialtelegraphenämter, auf welchen für die Arbeitsstromleitungen nur eine Batterie mit vielen Abzweigungen vorhanden ist, einen recht interessanten Beitrag liefern können.

Angenommen, die Batterie von 160 Elementen möge für 10 Leitungen mit je 10000 Ohm Gesamtwiderstand Strom liefern. Bei einer Stromabgabe in einer Leitung ist der Widerstand $10000 + 160 \times 5 = 10800$ Ohm und demgemäß die Stromstärke $A = 160 : 10800 = \frac{2}{135}$.

Bei gleichzeitiger Speisung von fünf Leitungen ist, da die Leitungen gleichen Widerstand haben, $10000 : 5 + 800 = 2800$ Ohm, demgemäß die Gesamtstromstärke $A^5 = 160 : 2800 = \frac{2}{35}$ und der auf jede Leitung entfallende Stromanteil $a^5 = \frac{2}{35} : 5 = \frac{2}{175}$.

Werden die 10 Leitungen gleichzeitig gespeist, so ist der reduzierende Widerstand $10000 : 10 = 1000 + 800 = 1800$ Ohm, demgemäß die Gesamtstromstärke $A^{10} = 160 : 1800 = \frac{2}{22{,}5}$ und der auf jede Leitung entfallende Stromanteil $a^{10} = \frac{2}{22{,}5} : 10 = \frac{2}{225}$.

Führen wir die Werte von A, a und a^1 auf die gleiche Benennung, so finden wir, daß die jeweilige Stromstärke für die Leitung schwankt im Verhältnisse von 10:6, wenn plötzlich von einer Leitung auf die Stromentsendung in zehn Leitungen übergegangen wird, und von 10:7,7, wenn die Stromentsendung in fünf Leitungen gleichzeitig stattfindet.

Das Accumulatorelement von 2 positiven und 3 negativen Elektroden (System Correns) hat einen Widerstand von etwa 0,03 Ohm. Da jedes Element ca. 2 Volt Spannung hat, so genügen 80 Accumulatorelemente, welche einen inneren Widerstand zusammen von 2,4 Ohm ergeben. Diese Größe kann gegen den Leitungswiderstand füglich vernachlässigt werden. Denn die Stromstärke ist für eine Leitung:

$$A = \frac{160}{10002{,}4} = \frac{2}{125{,}03};$$

für fünf Leitungen, gleichzeitig gespeist:

$$A^5 = \frac{160}{2002{,}4} = \frac{2}{25{,}03};$$

Digitized by Google

für 10 Leitungen, gleichzeitig gespeist:

$$A^{10} = \frac{160}{1002{,}4} = \frac{2}{12{,}53};$$

für 100 Leitungen, gleichzeitig gespeist:

$$A^{100} = \frac{160}{102{,}4} = \frac{2}{1{,}28}.$$

Der aus diesen Werten sich ergebende Stromanteil für jede Leitung beträgt:

$$A = \frac{2}{125{,}03};\ a^5 = \frac{2}{25{,}03} \times \frac{1}{5} = \frac{2}{125{,}13};\ a^{10} = \frac{2}{125{,}3} \times \frac{1}{10} = \frac{2}{125{,}31};$$

$$a^{100} = \frac{2}{1{,}28} \times \frac{1}{100} = \frac{2}{128}.$$

Bei gleichzeitiger Speisung von 200 Leitungen, wie es ja von einer Accumulatorenbatterie verlangt wird, ist der auf jede Leitung entfallende Stromanteil $a^{200} = \frac{160}{32{,}4} \times \frac{1}{200} = \frac{2}{131}$.

Es schwankt demnach bei einem inneren Widerstand von 0,03 Ohm die jeweilige Stromstärke für eine Leitung im Verhältnisse von nur 10:9,5; eine Stromabnahme von 5%, welche für den Betrieb nachteilig nicht auftreten wird, während bei einem inneren Widerstand von 5 Ohm die Stromstärke, wie oben gezeigt, bei zehn Leitungen schon um 40% fällt.

Grawinckel glaubt, den Widerstand einer Accumulatorzelle, welcher auf 0,01 Ohm vermindert worden war, auf 0,1 Ohm erhöhen zu können, ohne von dem angestrebten Zweck — Speisung der Leitungen durch eine Batterie — abgehen zu müssen. Mir scheint der innere Widerstand von 0,1 Ohm doch etwas zu hoch zu sein, so daß die Schwankungen in der Stromstärke nachteilig werden. Da nämlich unter Beibehaltung der eingangs gegebenen Faktoren bei Speisung einer Leitung die Stromstärke $\frac{2}{125{,}1}$, bei gleichzeitiger Speisung von 100 bezw. 200 Leitungen $\frac{2}{135}$ bezw. $\frac{2}{145}$ ist, so beträgt die Schwankung in der Stromstärke bei 100 Leitungen 7,4%, bei 200 bereits 14%. Dieser Verlust von 14% dürfte aber für den prompten Betrieb zu groß sein, so daß mit der Möglichkeit der Aufstellung zweier Batterien gerechnet werden müßte.

Die Überwachung einer Accumulatorenbatterie erfordert viel mehr Sorgfalt als diejenige einer Primärbatterie. Das Ein- und Ausschalten zum Laden und Entladen ist umständlich. Es müßte somit dem Accumulator für seine Verwendung zu Telegraphierzwecken eine sehr beachtenswerte Konkurrenz erwachsen, sofern eine Primärbatterie mit geringem Widerstande und genügender Konstanz geschaffen werden könnte.

Soweit mir das Leclanché-Element bekannt ist, kann dasselbe große Beanspruchungen erfahren, wie dies täglich in der Uhrentechnik zu er-

Digitized by Google

sehen ist. Auch hat sich dasselbe für den Betrieb der Hughes-Apparate bewährt, wie die holländischen Versuche bewiesen haben. Dieses Element läßt sich ebenso bequem wie der Accumulator in eine mehrplattige Zelle einrichten, wobei der innere Widerstand auf 0,1 Ohm vermindert werden kann. Um dem prompten Betrieb nach jeder Richtung Rechnung zu tragen, werden 2 oder 3 Batterien aufgestellt. Die elektromotorische Kraft ist 1,3 Volt; es ersetzen somit 123 Leclanché-Elemente 160 Zink-Kupfer-elemente.

Die Überwachung des Leclanche-Elementes ist im Vergleich zu derjenigen des Accumulators unerheblich. Es ist zwar in Betracht zu ziehen, daß sehr wahrscheinlich nach 6—9 Monaten eine Erneuerung der Batterie stattfinden muß, vorausgesetzt, daß die Leclanché-Batterie den hohen Anforderungen für Telegraphierzwecke genügte. Indessen ist als Vorteil zu bezeichnen, daß, da die Batterie zu jeder Zeit aktionsfähig ist, es einer besonderen Elektrizitätsquelle zum Laden nicht mehr bedarf.

Auf den Provinzialtelegraphenämtern sind häufig nur 1 oder 2 bezw. 3 Arbeitsstrombatterien vorhanden. Diese Ämter würden sich sehr gut dazu eignen, Versuche mit doppelplattigen Leclanché-Elementen anzustellen und an Stelle der Zink-Kupferbatterien eine einzige Leclanché-Batterie zu verwenden, welche gleichzeitig zum Betrieb von unterirdischen Hughes- und Morse-Luftleitungen benutzt wird.

VIII. Die Schaltungen.

Die in jeder Beziehung vorteilhafteste Schaltung der Accumulatoren wurde schon im Kapitel VII. 1 erwähnt, es ist

die reine Parallelschaltung

von Maschinen und Accumulatoren. Hierzu bedarf man Dynamos mit Nebenschlußwickelung, welche eine über die Lampenspannung entsprechend höhere Spannung liefern, so daß man für das Laden 2,5—2,75 Volt per Zelle erhält. Wie hoch diese Spannung für die verschiedenen Lampenspannungen ist, ergiebt die folgende Tabelle.

Digitized by Google

Spannung in der Lichtleitung	Accumulatoren				Maschine	
	Zellenzahl	Spannung größte	Spannung kleinste	Differenz	Zellenschalter, Zahl der Kontakte	nötige Spannung bei voller Stromstärke
Volt		Volt				Volt
50	28	64	50	14	6	64
65	**36**	**82**	**65**	**17**	**7**	**82**
80	45	103	80	23	10	103
100	56	129	100	29	12	129
110	**61**	**140**	**110**	**30**	**12**	**140**
120	67	154	120	34	13	154
130	72	165	130	35	13	165
140	78	179	140	39	15	179
150	83	191	150	39	15	191

Bei neuen Anlagen sollte man nur die reine parallele Schaltung, wie sie in Fig. 79 dargestellt ist, verwenden. Sollen während des Ladens der Accumulatoren Lampen mitbrennen, so ist es erforderlich, daß an die Lichtleitung nur soviel Zellen angeschlossen sind, als wie notwendig sind, die für die Lampen erforderliche Spannung zu erzeugen. Um diese Spannung hervorzubringen, sind, da die Spannung während der Ladung steigt, je weiter die Ladung fortschreitet, immer weniger Zellen erforderlich. Es ist daher durchaus nötig, daß nach und nach Zellen mittels des Zellenschalters abgeschaltet werden. Während des Ladens geht bei dieser Schaltung der Strom immer durch sämtliche Zellen. Da nun die ersten am Zellenschalter liegenden Zellen weniger entladen sind wie die anderen Zellen, werden dieselben auch früher geladen sein wie die anderen. Es ist daher das Weiterladen derselben mit Kraftverlust verbunden. Bei kleinen Anlagen fällt dieser Kraftverlust wenig ins Gewicht, bei größeren Anlagen jedoch ist derselbe wohl zu berücksichtigen, da bei großer Stromstärke schon bei wenig Zellen der Kraftverlust einige Pferdestärken betragen kann.

Um diesen Übelständen abzuhelfen, wendet man die Schaltung Fig. 80 mit Doppelzellenschalter an. Aus der Figur geht ohne Weiteres hervor, daß man es mit Hilfe dieses Schalters sehr einfach in der Hand hat, die vollgeladenen Zellen abzuschalten und den Maschinenstrom nur den noch übrigen Zellen zuzuführen. Diese Einrichtung bringt außerdem noch den Vorteil mit, daß die Spannung der Maschine nicht mehr so hoch zu sein braucht, wenn schon einige Zellen geladen sind, ein Vorteil, den der einfache Zellenschalter gleichfalls nicht gewährt.

In Anlagen, wo während des Ladens keine Lampen mitbrennen

Digitized by Google

sollen, kann man einen einfachen Zellenschalter nach der in Fig. 81 angedeuteten Verbindung wiederum zur Verwendung bringen.

Brennen während des Ladens der Accumulatoren Lampen mit, so geht durch diejenigen Zellen (Fig. 79) bei der reinen Parallelschaltung, welche

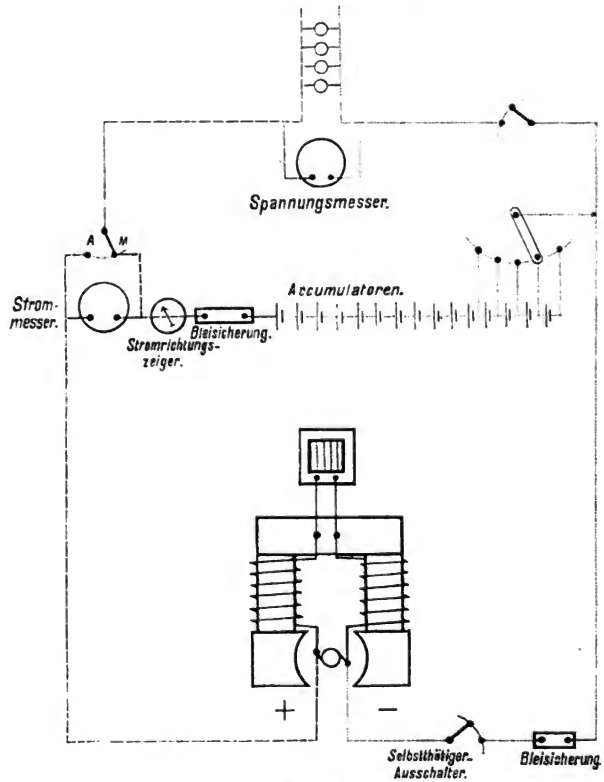


Fig. 79.

zwischen dem Maschinenumschalter und dem Kontakthebel des Zellenschalters liegen, nicht allein der Ladestrom, sondern auch derjenige, welcher zu den Lampen sich abzweigt. Die am Zellenschalter liegenden Zellen

Digitized by Google

erhalten daher unter Umständen mehr Strom als ihnen nach ihrer Größe zuträglich ist. Das Überschreiten der normalen Stromstärke für diese Zellen wird meistens bis zu 20 % der normalen Stromstärke gestattet sein. Brennen soviel Lampen in der Leitung, daß der Ladestrom und der

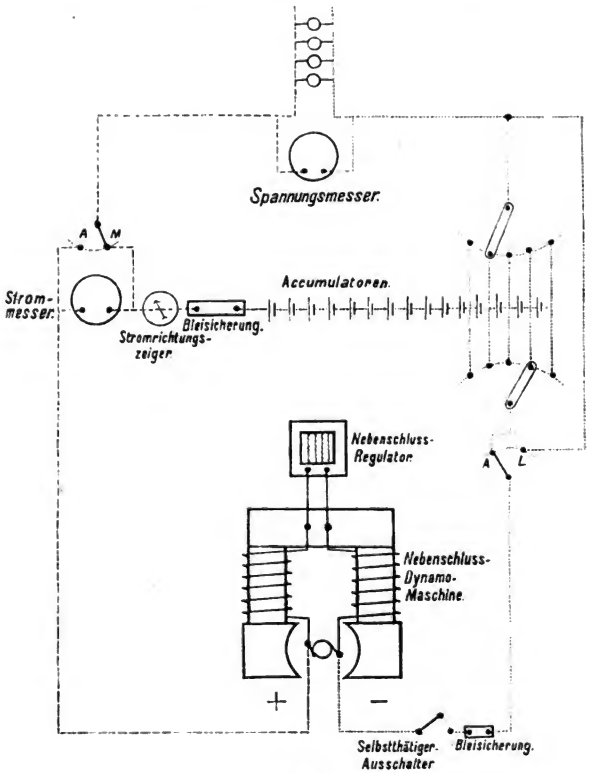


Fig. 80.

Strom der Leitung diese Grenzen überschreitet, so muß entweder der Ladestrom oder die Anzahl der während des Ladens brennenden Lampen so weit verringert werden, daß die vorgeschriebene Stromstärke nicht über-

Digitized by Google

schritten wird. Die Kontakte des Zellenschalters sind natürlich entsprechend der größeren Stromstärke mit größeren Kontaktflächen vorzusehen. Sollen auch bei kleinen Anlagen sehr viel Lampen mitbrennen, so ist unter allen Umständen ein Doppel-Zellenschalter auch bei diesen anzuwenden.

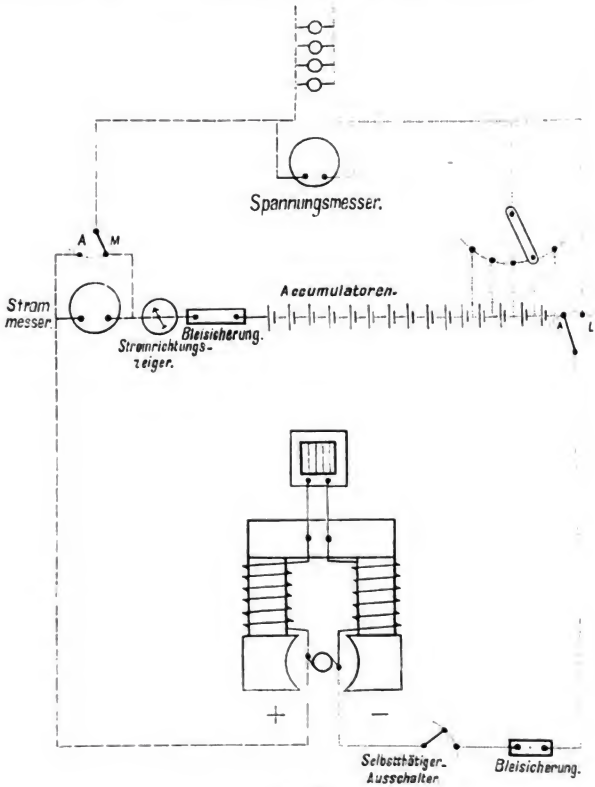


Fig. 81.

Bei gleichzeitigem Betriebe des Ladens und des Brennens von Lampen ist es vorteilhaft, daß die Maschine möglichst voll belastet ist und die Accumulatoren nur soviel Strom geben, als der Bedarf in der Lichtleitung

die Leistung der Maschine übertrifft. Auf diese Weise ist es möglich, die Ladezeit möglichst zu verkürzen, so daß die Accumulatoren bei einem plötzlichen Versagen der Maschinenanlage die Stromlieferung möglichst lange allein übernehmen können. Für einen solchen Notfall ist es gestattet, die Stromstärke für die Entladung auf kurze Zeit 3 Mal so hoch zu nehmen, als sie normal sein soll. In diesem Falle muß jedoch sobald wie möglich von neuem geladen und eine reichere Überladung 1—2 Mal stattfinden.

Die Zusatzdynamo.

Ist es bei vorhandenen Anlagen, welche durch Accumulatoren ergänzt werden, nicht möglich, die Spannung der Dynamomaschine bis auf das gewünschte Maß zu erhöhen, damit die Zellen in einer Reihe geladen werden, so schaltet man eine kleine Dynamomaschine vor die vorhandene Dynamo, welche die zum Laden erforderliche Stromstärke und die Zusatzspannung liefert. Brennen während des Ladens Lampen mit, so arbeitet die Hauptdynamo mit der für das Brennen der Lampen erforderliche Spannung. Der Strom für die Lampen geht unmittelbar in die Leitung, ohne die am Zellenschalter liegenden Zellen zu durchströmen. Es können dann beliebig viel Lampen während der Ladung mitbrennen, ohne daß es nötig ist, die Kontaktfläche am Zellenschalter zu vergrößern. Es empfiehlt sich, die Zusatzdynamo nicht größer zu wählen, als der Ladestrom der Accumulatoren erfordert, so daß ein Laden mit zu hohem Strom vermieden wird. Die Spannung der Zusatzdynamo muß so groß gewählt werden, daß sie mit der Hauptdynamo zusammen die am Ende der Ladung erforderliche Spannung giebt. Hat die Hauptdynamo zum Beispiel 110 Volt Spannung, man braucht jedoch zum Laden von 61 Zellen 140 Volt im Maximum, so muß die Zusatzdynamo 30 Volt liefern. Die Anzahl der Zellen, für welche der Einfach-Zellenschalter eingerichtet sein muß, geht aus der Tabelle Seite 197 hervor. Der Betrieb der Zusatzdynamo kann in vielen Fällen vorteilhaft durch einen Elektromotor bewirkt werden, wenn es nicht möglich ist, den Betrieb von demselben Vorgelege einzurichten, welches die Hauptdynamo im Betrieb erhält.

Bei größeren Anlagen ist es vorteilhaft, sowohl für die Dynamomaschine als auch für die Accumulatoren einen besonderen Ampèremeter anzuwenden. Bei größeren Anlagen nimmt man wohl auch einen Ampèremeter und versieht denselben mit einem Umschalter, der es gestattet, abwechselnd entweder die Stromstärke in den Zellen oder die Stromstärke der Maschine zu messen.

Digitized by Google

Der Spannungsmesser.

Es ist sehr wichtig, daß man unabhängig voneinander die Spannung der Dynamo, der Accumulatoren und der Lichtleitung messen kann. Um dies mit ein und demselben Voltmeter zu bewirken, wendet man den in Fig. 82 abgebildeten Umschalter an. Sind 2 oder mehr Dynamomaschinen zum Betriebe miteinander parallel geschaltet, so verwendet man 2 Voltmeter, von denen der eine beständig mit der Lichtleitung verbunden ist, während der andere abwechselnd mit einer der Dynamo verbunden werden kann.

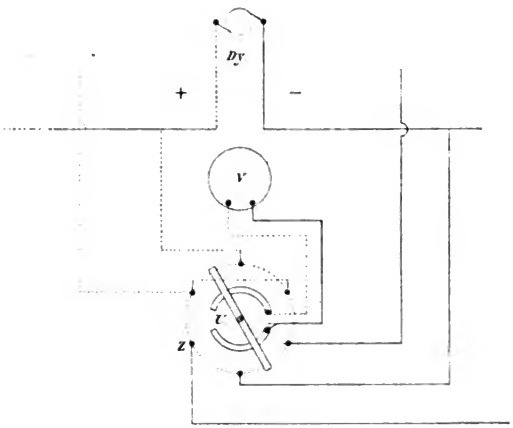


Fig. 82

Der Maschinenumschalter.

Sind die Accumulatoren eine Zeitlang allein geladen worden und geht man zum Parallelbetriebe der Maschinen und der Accumulatoren über, so würden die Zellen, welche beim Einfach-Zellenschalter abgeschaltet sind, einen Moment kurz geschlossen sein, falls der Maschinenumschalter nicht eine völlige Unterbrechung bewirkte. Die Maschine wird durch das Umschalten Strom los. Der selbstthätige Ausschalter schaltet infolgedessen aus und für den Augenblick des Umschaltens müssen die Accumulatoren allein den Strom liefern. Es ist daher zu empfehlen, den Übergang vom Laden zum Parallelbetrieb dann vorzunehmen, wenn der Strombedarf die höchst zulässige Entlade-Stromstärke der Accumulatoren noch nicht über-

Digitized by Google

steigt. Sobald der Hebel des Maschinenumschalters nach rechts gestellt ist (s. Fig. 79), so erhöht man die Spannung der Dynamo um etwa 5 Volt über die Spannung der Lichtleitung, schaltet den selbstthätigen Ausschalter wieder ein und ist dann der Parallelbetrieb hergestellt. Bei Anwendung von Doppel-Zellenschaltern tritt das Stromloswerden der Maschinen und das Ausschalten am selbstthätigen Ausschalter nicht ein. Für den Parallelbetrieb stellt man die beiden Hebel des Doppel-Zellenschalters so, daß sie mit derselben Klemme Kontakt haben, so daß dann ein Kurzschluß der einzelnen Endzellen nicht stattfinden kann. Der Maschinenausschalter ist dann ohne Unterbrechung ausgeführt, so daß beim Umschalten des Maschinenumschalters ein Ausschalten des selbstthätigen Ausschalters vermieden wird.

Das Schaltbrett.

Die Apparate, welche zur Ausführung der verschiedenen Schaltungen dienen, sind in dem Kapitel 9 näher beschrieben worden. Um eine Übersicht der gesamten Schalt- und Hilfsapparate zu gewinnen und mit Sicherheit die verschiedenen Änderungen der Schaltungen beim Betriebe schnell ausführen zu können, pflegt man die gedachten Apparate insgesamt auf einer gemeinsamen Tafel, das Schaltbrett genannt, zu befestigen. Je nach der Größe und dem Zweck der Anlage sind diese Tafeln in der verschiedensten Weise konstruiert, bei kleineren Anlagen bildet man aus mehrfachen Holzlagen eine solide Holzplatte, auf welcher die Apparate angeschraubt werden. Bei großen Anlagen dagegen ist zunächst ein eisernes Gerüst notwendig, auf welchem man Holzbalken oder Holzplatten verschraubt, die dann Schiefer- oder Marmorplatten tragen, auf denen die einzelnen Schaltapparate angebracht sind. Ein sehr umfangreiches Schaltbrett war von der Aktiengesellschaft zu Hagen auf der internationalen elektrotechnischen Ausstellung zu Frankfurt a/M. in Betrieb. Das Schema desselben ist in Fig. 83 abgebildet.

Das Laden dieser großen Batterie auf der Ausstellung wurde von den verschiedensten Maschinen bewirkt. Der Strom diente für die verschiedensten Teile der Ausstellung. Auf der Bühne des Ausstellungstheaters war noch eine besondere Batterie vorhanden, wie dies auch die Figur erkennen läßt. Eine andere Batterie derselben Gesellschaft war mit mehreren Maschinen verbunden, welche gestatteten, das Laden durch Gleichstrom oder auch durch Wechselstrom indirekt zu bewirken. Die Schaltung für diesen Zweck ist in Fig. 84 wiedergegeben. Ein Wechselstrommotor von 200 P. S. war direkt mit einer Siemensschen Dynamomaschine gekuppelt. Er empfing den Wechselstrom aus einer 500pferdigen Maschine

Digitized by Google

und betrieb auf diese Weise die Ladedynamo. Es ist nicht möglich, hier alle irgendwie vorkommenden Schaltungen wiederzugeben, da die Kombi-

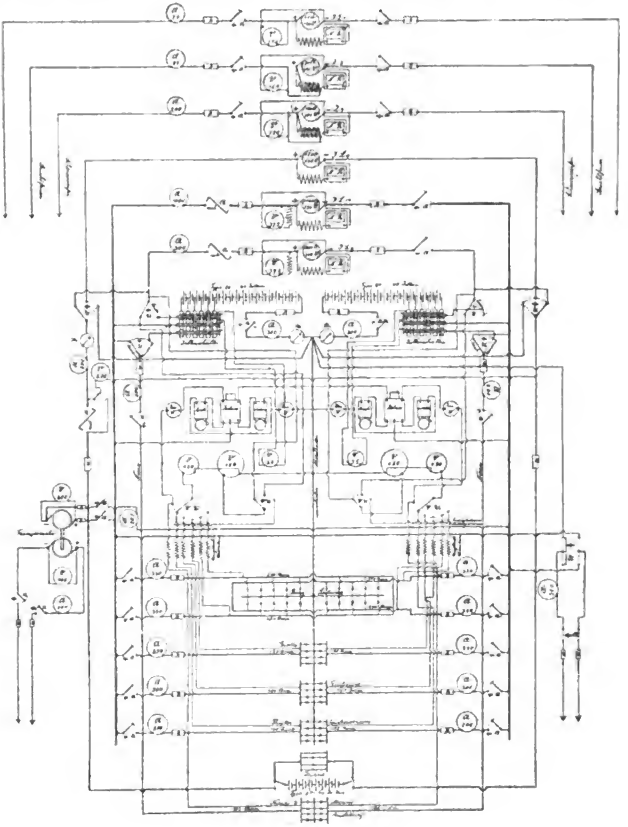


Fig. 83.

nationen sehr verschiedenartig sind. Dieselben müssen, dem jedesmaligen Zweck entsprechend, besonders entworfen werden. In den meisten Fällen pflegen die Accumulatorenfabriken die Aufstellung und Konstruktionen der

Digitized by Google

Batterie und des Schaltbretts für dieselbe zu übernehmen, so daß der Installateur seine Thätigkeit in vielen Fällen auf die Anlage der Leitungen und die Aufstellung der Maschinen zu beschränken hat.

Besondere Schwierigkeiten bietet die Aufstellung einer Accumulatorenbatterie in einer schon vorhandenen Anlage, die mit Dynamo betrieben werden, welche auf den Magnetschenkeln gemischte Wicklung haben (Compounddynamo). Bei diesen Maschinen ist meistens der Mitbetrieb von Lampen beim Laden, wie der Parallelbetrieb von Maschine und

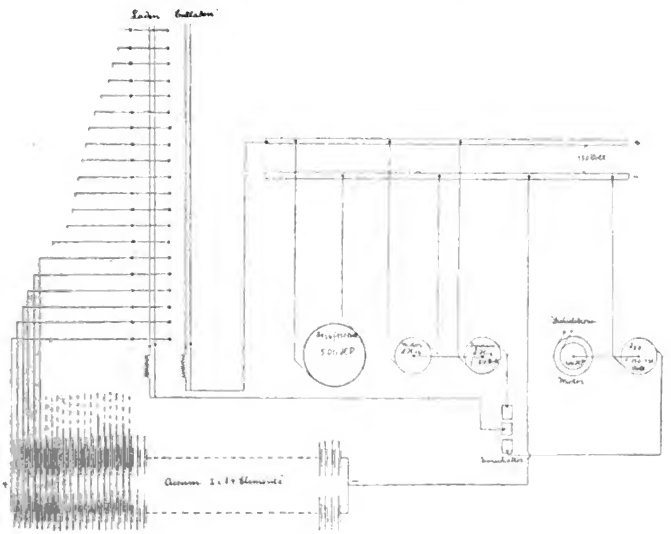
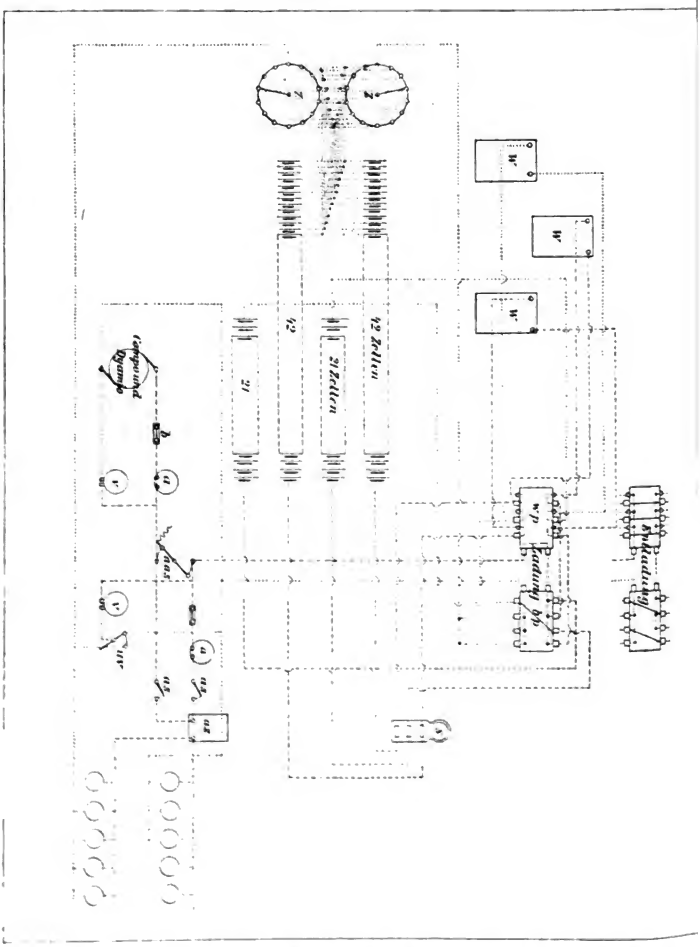


Fig. 84.

Batterie auf dieselbe Leitung ausgeschlossen. Letzteres ist insofern gefährlich, als das Umpolarisieren der Maschine dabei leicht vorkommen kann. Man kann diesem Übelstande vorbeugen, indem man nur die dünnen Magnetwindungen zum Laden benutzt und also aus der Dynamo eine Nebenschlußmaschine macht, wodurch natürlich Spannung und Stromstärke verringert werden. Da die Spannung einer Compoundmaschine sich nicht genügend beim Laden erhöhen läßt, so ist vor der Verwendung jedesmal zu untersuchen, ob die Stromstärke hinreichend groß ist, daß



man event. in 2 Reihen die Batterie laden kann. Die Nebenschlußwicklung einer Compounddynamo allein pflegt etwa 70% ihrer normalen Spannung und 50% ihrer normalen Stromstärke beim Laden (ohne die

ſtarken Windungen der Magnete) zu ergeben. Es iſt alſo keineswegs vorteilhaft, eine ſolche Maſchine beim Laden anzuwenden. Eine Schaltung für die Anwendung einer Compoundmaſchine zum Laden mit 2 Stromkreiſen von verſchieden hoher Spannung iſt in Fig. 85 dargeſtellt, wie ſie von der de Khotinsky-Geſellſchaft benutzt wird. Die Umſchaltung in den Stromwendern wp bp iſt in einer kleineren Figur oben noch einmal wiedergegeben. z ſind die Zellenſchalter und w Vorſchaltwiderſtände. a, as iſt ein automatiſcher Ausſchalter, as ſind gewöhnliche Ausſchalter, az ein Aron'ſcher Zähler, s ein Serienmeſſer, wp der Umſchalter für die Widerſtände und bp der Umſchalter für die Batterie.

IX. Die Schaltapparate.

Für den Accumulatorenbetrieb ſind unter den Schaltapparaten vor allen Dingen zwei ſehr wichtig: die Zellenſchalter und die automatiſchen Ausſchalter, ferner die Spannungsregulierapparate und die Umſchalter, welche zur Herſtellung der verſchiedenen Verbindungen dienen; außerdem ſind noch, wie ja auch für verſchiedene ſonſtige Zwecke, Bleiſicherungen und andere kleinere Nebenapparate in Gebrauch.

Die erſte Bedingung für alle Schaltapparate iſt die, daß ſie einfach und überſichtlich gebaut ſind, ſo daß man an ihnen leicht und ſchnell die erforderlichen Handgriffe ausführen kann. Sie müſſen ſehr dauerhaft gearbeitet ſein, einen ſicheren Kontakt bilden und den Strom ſo gut leiten, daß ſie ſich nicht erwärmen. Die einzelnen Klemmen müſſen gut voneinander iſoliert ſein und die Kontakte ſich möglichſt wenig abnützen reſp. verbrennen.

Alle Schaltapparate, welche beſtimmt ſind, den elektriſchen Strom in verſchiedene Leitungen zu verteilen, oder deſſen Leitungen nach verſchiedenen Richtungen zu bewirken, müſſen ſo eingerichtet ſein, daß die Kontakthebel in allen ihren beweglichen Teilen in inniger metalliſcher Berührung ſich befinden. Man verwendet für dieſen Zweck entweder Kontakte, welche eine Meſſerſchneide aus Kupfer zwiſchen Kupferfedern preſſen, oder man legt zahlreiche Kupferlamellen übereinander und läßt deren abgeglichene Endfläche auf Meſſingſchienen ſchleifen. Mitunter bedient man ſich auch ſchleifender Kupferbürſten, welche unter rechtem oder ſpitzem Winkel den Schleifkontakt vermitteln. Für einzelne Zwecke, beſonders bei automatiſchen Ausſchaltern oder bei Umſchaltern, welche für ſchnell auszuführende Meſſungen dienen, pflegt man auch Queckſilberkontakte anzuwenden, indem

Digitized by Google

man die verquickten Enden von Kupferstreifen in mit Quecksilber gefüllte, metallische Gefäße tauchen läßt. Die Hauptbedingung für alle Schalter ist, daß die Kontaktflächen oder Verbindungsflächen so groß gemacht werden, daß eine Erwärmung derselben beim Übergang des Stromes aus einem Teil in den anderen nicht eintreten kann. Je nach der Größe der Kontaktflächen und der Strommenge, für welche sie bestimmt sind, rechnet man 4—6 qumm auf 1 Amp. Die Metallteile der Umschalter, welche den Strom leiten sollen, fertigt man ausschließlich aus Kupfer oder Messing, während man die Hebel im übrigen aus Eisen und die Handhaben aus Holz macht. Eine große Hauptsache ist eine gute Isolierung der einzelnen Klemmen von einander. Für kleinere Umschalter hat man seit längerer Zeit schon nur Porzellan angewendet, da Holz, Hartgummi, Steinnuß oder dergleichen unter Umständen leicht verbrennt, Feuchtigkeit aufnimmt oder die äußeren Formen verändert. Sehr große Umschalter pflegt man auf mit Paraffin imprägniertem Schiefer oder aus gut ausgesuchtem, weißem Marmor zu montieren. Bei der Verwendung dieser letzteren Materialien muß man sehr sorgfältig darauf achten, daß der Stein keine den Strom leitende Adern von Metalloxyden enthält, wie dieses z. B. sehr vielfach beim Serpentin der Fall ist. Alle Schalter müssen zwar kräftig und ihrem Zweck entsprechend gebaut sein, doch ist es nicht nötig, den Querschnitt der einzelnen Metallstücke größer zu nehmen, als für eine gute Fortleitung des Stromes ohne merkbare Erwärmung oder ohne wesentlichen Spannungsverlust gut ist. Die kupfernen Teile pflegt man womöglich aus elektrolytischem, reinem Kupfer von hoher Leitungsfähigkeit zu machen. Hieraus folgt, daß sehr große Stücke unter Umständen aus einzelnen Teilen zusammengesetzt und mit Silber verlötet werden müssen. Diejenigen Metallflächen, welche keine reibenden Kontakte bilden, pflegt man zu polieren und mit Lack zu überziehen, welcher die Oxydation an der Luft verhindert. Je nach Umständen richtet man die Schaltapparate von Hand verstellbar ein, oder man bewegt deren Kontakthebel durch den elektrischen Strom, zu welchem Zwecke man die verschiedensten Vorrichtungen ersonnen hat. Die automatische Bewegung wird im allgemeinen dadurch erzielt, daß man einen empfindlichen Apparat, z. B. ein Spannungsrelais einschaltet, welches bei der geringsten Änderung der Spannung in Thätigkeit tritt und den Stromkreis, z. B. eines Elektromotors schließt, welcher dann den Schaltapparat so lange rückwärts oder vorwärts bewegt, bis die gewünschte Spannung wieder erreicht ist. Die Apparate dieser Art sind höchst sinnreich und zahlreich konstruiert worden, es existieren jedoch bis jetzt nur sehr wenige, welche allen Ansprüchen dauernd und sicher genügen.

Digitized by Google

1. Die Umschalter.

Für die einfache Unterbrechung eines elektrischen Stromes genügt ein Umschalter mit 2 Leitungsklemmen, während man für die Umschaltung einer Leitung mit Unterbrechung 3 entsprechend weit voneinander befindliche Klemmen bedarf. Die Fig. 86, 87 zeigen 2 derartige Umschalter nach

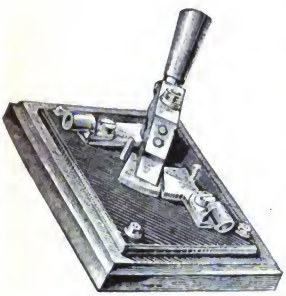


Fig. 86.

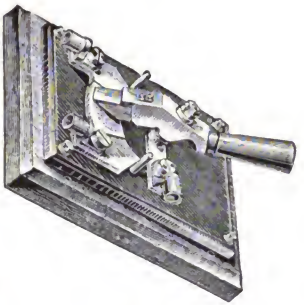


Fig. 87.

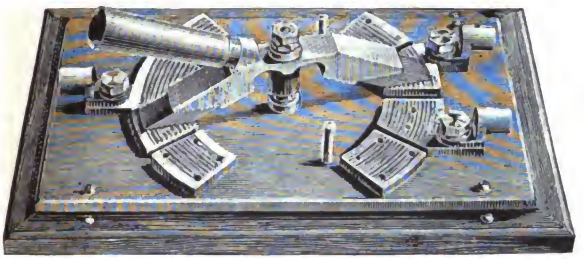


Fig. 88.

Konstruktion der Herren Willing & Violet. Zur Umschaltung von Strömen ohne Unterbrechung resp. zum Ausschalten verwendet die Accumulatorenfabrik in Hagen den in Fig. 88 abgebildeten Umschalter, während die Veränderung einer Reihe Accumulatoren zum Laden in 2 Reihen durch den Umschalter in Fig. 89 bewirkt wird. Ein automatischer Ausschalter neuerer Konstruktion von der Firma Voigt & Haeffner ist in Fig. 90 abgebildet. Der Konstruktion liegen folgende Prinzipien zu

Digitized by Google

Grunde: Queckſilberkontakte ſind vermieden. Der eigentliche Ausſchalter iſt vom Unterbrechungsmechanismus getrennt. Durch dieſe Trennung wird eine größere Zuverläſſigkeit erreicht, weil die Reibung des Ausſchalters keinen Einfluß auf die Auslöſung hat. Die Funktion des Apparates iſt folgende: Bei Wachſen der Stromſtärke bewegt ſich der Anker nach den Polen des Elektromagneten, der Fallhammer, welcher außerdem noch durch eine Feder eine Beſchleunigung erfährt, wird ausgelöſt und drückt den Kontakthebel aus den Kontaktfedern heraus. Die Vollendung des Weges des Ausſchalthebels geſchieht durch Federkraft wie bei ſo vielen anderen Ausſchaltern. Eingehende Verſuche haben gezeigt, daß ein Apparat für 100 Amp. auf 5 Amp. genau wirkt. Der Apparat kann auch mit dünnem Draht bewickelt werden und ſchaltet dann beim Eintritt einer Maximalſpannung aus.*)

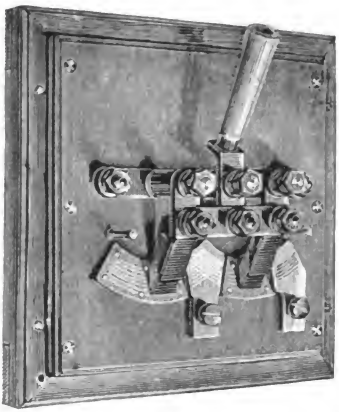


Fig. 89.

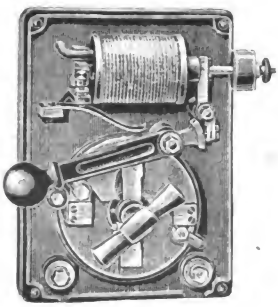


Fig. 90.

Ein anderer automatiſcher Ausſchalter mit Queckſilberkontakten iſt in Fig. 91 abgebildet, wie ihn die Firma Willing & Violet liefert. Der Strom zirkuliert in einer um ihre Längsaxe drehbaren Kupferſpirale, deren Enden in Queckſilbernäpfe tauchen. An beiden Enden der Spirale befinden ſich eiſerne Polſchuhe, welche bei zu ſtarkem Anwachſen des Stromes ſtark magnetiſch werden und durch die magnetiſche Kraft ſich rückwärts nach dem quer davorliegenden Anker bewegen, die Enden der Spirale

*) ſ. A. Elektrotechniſche Zeitſchrift Nr. 38, 1890

Digitized by Google

aus den Quecksilbernäpfen bei dieser Drehung entfernen und so den Strom unterbrechen.

Ein Voltmeterumschalter, der dazu dient, mit ein und demselben Voltmeter die Spannung verschiedener Maschinen der Accumulatoren- und Lampenleitungen zu messen, ist in Fig. 92 abgebildet. Seine Einrichtung ist ohne weiteres verständlich. In dem Kapitel über die Schaltungen ist außerdem die Anwendung der Umschalter für die verschiedensten Zwecke

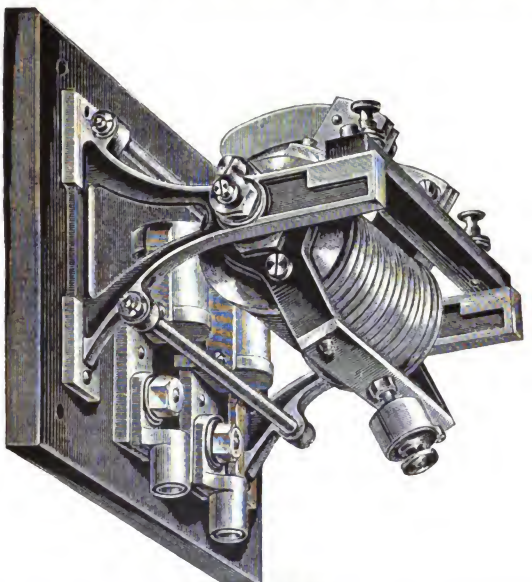


Fig. 91.

schon genügend erörtert worden und gehen die an den Umschaltern nötigen Verbindungen aus den daselbst gegebenen Schaltungsskizzen hervor.

Es mag an dieser Stelle noch erwähnt werden, daß beim Laden von Accumulatoren unter allen Umständen die Einschaltung eines Stromrichtungszeigers notwendig ist. Es ist nämlich nicht ausgeschlossen, daß unter gewissen Umständen, deren eingehendere Erörterung nicht hierher gehört, die Polarität der ladenden Dynamo wechselt, so daß die Accumulatoren entgegengesetzten Strom erhalten könnten, sie würden in diesem Falle zunächst völlig entladen und dann ihre Platten umformiert werden,

Digitized by Google

wodurch dieselben unter Umständen in ihrer Haltbarkeit und Wirksamkeit beeinträchtigt würden. Für diesen Zweck pflegt man die Leitung, welche vom positiven Pol der Dynamo abzweigt, mit einer Magnetnadel zu versehen, welche beim Entladen z. B. nach links, beim Laden nach rechts abweicht. Eine entsprechende Aufschrift auf beiden Seiten giebt dann dem die Aufsicht führenden Personal ein sicheres Anzeichen, daß der Strom auch richtig zirkuliert.

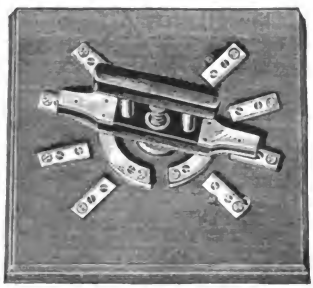


Fig. 92.

2. Die Zellenschalter.

Wie schon bei den Schaltungen erwähnt, hat man einfache und Doppelzellenschalter, deren Verbindung mit den einzelnen Zellen aus den Schaltungsskizzen zu ersehen sind. Die Anordnung dieser Zellenschalter ist im allgemeinen so, daß man die nötige Anzahl Klemmen auf einer Platte im Kreise anordnet, auf denen sich dann ein im Kreise beweglicher Umschalthebel bewegen läßt. Je nach der Stromstärke, für welche diese Zellenschalter bestimmt sind, hat man verschiedene Einrichtungen bei denselben getroffen. Die Hauptsache ist bei allen, daß sie den Strom nicht unterbrechen und leicht und sicher eine Veränderung der Zellenzahl gestatten. Fig. 93 zeigt einen Doppelzellenschalter der Herren Willing & Violet, dessen Funktion aus der Abbildung leicht ersichtlich ist. Wie bekannt, ist die Anfangsspannung frisch geladener Zellen bedeutend höher als kurze Zeit nach Beginn der Entladung. Um den Übergang von der hohen Spannung zu der niedrigeren ohne Einfluß auf die Gleichmäßigkeit des Lichtes allmählich stattfinden zu lassen, reguliert man den Nebenschluß der Dynamo unter Beobachtung des Voltmeters derart, daß die Maschine nach und nach weniger Strom giebt, während man die Accumulatoren mehr und mehr unter Zuhilfenahme des Zellenschalters bis zur vollen Entladestromstärke belastet. Sehr oft jedoch findet die Entladung anfangs mit einer viel geringeren Stromstärke statt und die Spannung ist zu Anfang der Entladung noch etwas höher; es ist infolgedessen sehr oft nötig, mit Hilfe der Zellenschalter eine gewisse Anzahl von Zellen abzuschalten, d. h. außer Thätigkeit zu setzen und letztere allmählich wieder zuzuschalten, sobald die Spannung sinkt. Dieser Umstand erfordert zwischen dem Zellenschalter und der Batterie eine größere Anzahl von

Digitized by Google

Leitungen, deren Querschnitt man so berechnet, daß auf 1 Amp. des höchst zulässigen Entladestroms 0,5 qumm Kupferquerschnitt kommen. Sind die Leitungen länger als etwa 30 Meter, so berechnet man den Querschnitt derartig, daß nicht mehr als 1 Volt Verlust in den Leitungen

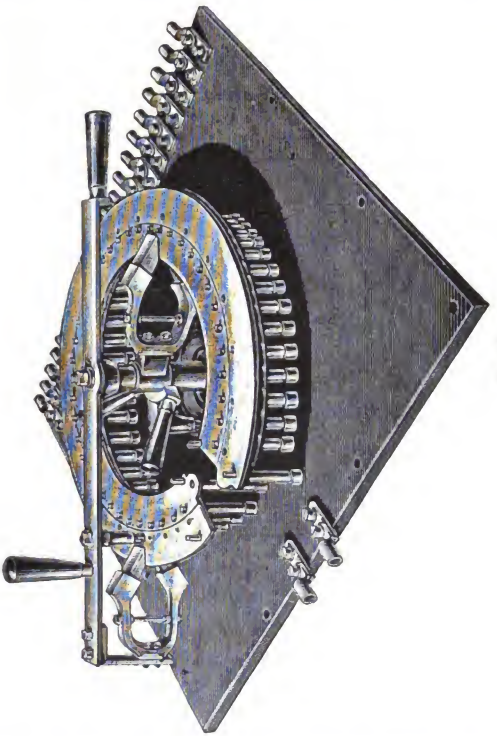


Fig. 93.

stattfindet. Für die beiden von der ersten und letzten Zelle abgehenden Leitungen pflegt man nicht mehr als 0,5 Volt Verlust zu nehmen.

Um das Kurzschließen einer Zelle beim Umschalten zu vermeiden, hat man dem Einfachzellenschalter die in Fig. 94 schematisch dargestellte Einrichtung gegeben. Zwischen den Klemmen, an welchen die Leitungen zu

Digitized by Google

den Zellen liegen, befinden sich tote Stücke. Der Hebel des Zellenschalters hat 2 von einander isolierte Stücke, welche durch einen kurzen Widerstand miteinander verbunden sind. Der Widerstand ist derartig bemessen, daß er bei der höchst zulässigen Ladestromstärke der betreffenden Zellen je nach der Größe 2 Volt vernichtet.

In welcher Weise die Verbindungen der Zellen mit dem Doppelzellenschalter auszuführen sind, ist in der Fig. 95 dargestellt. Die Aktiengesellschaft zu Hagen hat diesen Doppelzellenschalter noch eine besondere Vorrichtung gegeben, welche sehr bequem ist zu ermitteln, ob die betreffende Zelle bereits geladen ist. Wie aus der Figur hervorgeht, ist an 2 halbkreisförmigen Schienen ein Spannungsmesser angeschlossen; diese Schienen sind in Verbindung mit je einer Klemme und zeigen somit die Spannung der betreffenden Zelle an, so daß der Wärter, welcher Maschine und Accumulator bedient, an dem Spannungsmesser schon beizeiten erkennt, ob die betreffende Zelle gut geladen ist. Natürlich sind die Schalthebel mit der gleichen Vorrichtung versehen, welche wie beim Einfachzellenschalter den Kurzschluß der einzelnen Zellen verhindert. An dem Voltmeter merkt man sich einfach, bei welcher Spannung die Zellen eine lebhafte Gasentwickelung zeigen und somit völlig geladen sind. Die Einrichtung gestattet auch, den Spannungsmesser entfernt von dem Zellenschalter anzubringen.

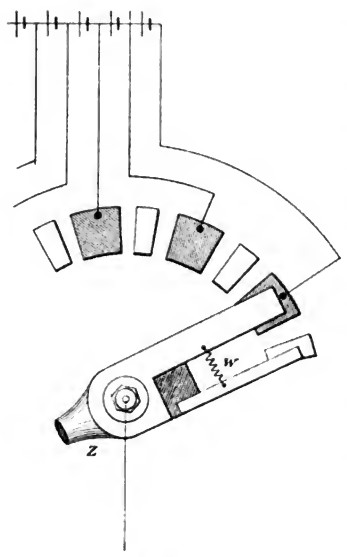


Fig. 94.

Der Erdschlußanzeiger.

In allen elektrischen Beleuchtungsanlagen, besonders natürlich in Accumulatorenanlagen ist es äußerst wichtig, jeden Nebenschluß, besonders

Digitized by Google

jeden Erdſchluß ſofort zu entdecken und zu beſeitigen. Beim Maſchinenbetriebe allein iſt der Verluſt an Kraft nicht ſo folgenſchwer, während er bei Accumulatoren der Haltbarkeit der Platten gar leicht verderblich

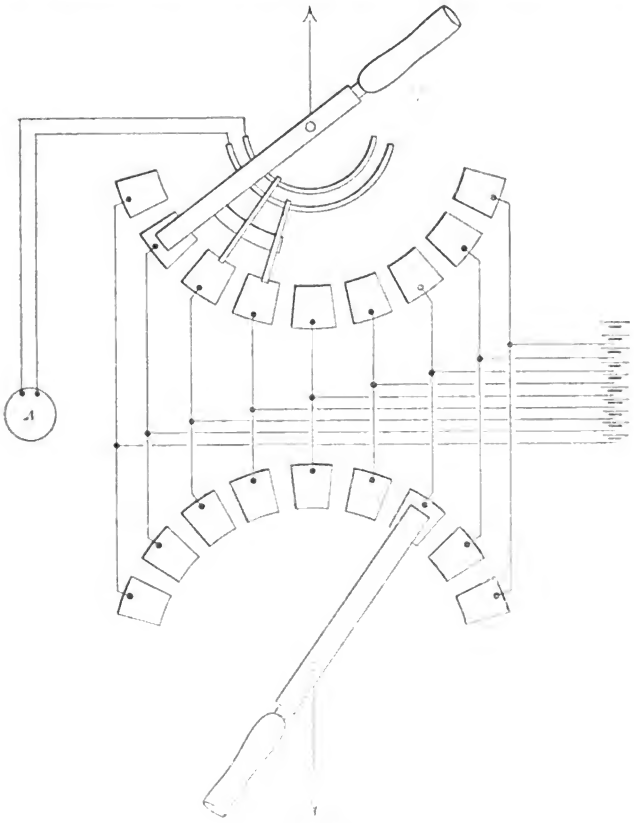


Fig. 95.

werden kann. Es iſt daher von großer Wichtigkeit, täglich die geſamte Anlage auf Erdſchluß zu unterſuchen. Man hat für dieſen Zweck die

Digitized by Google

verschiedensten, teils auch automatischen, optischen und akustischen Signalapparate gebaut. Der Erdschlußanzeiger in seiner einfachsten Form ist in der Fig. 96 abgebildet. Die beiden Glühlampen sind mit je einer Leitung in Verbindung, während der Hebel in der Mitte an der Erde liegt. Sobald man denselben rechts oder links dreht, kommt er mit einer der beiden Glühlampen in Verbindung. Ist Erdschluß vorhanden, so glüht die betreffende Lampe. Die Intensität des Glühens des Kohlenfadens in der Lampe giebt ein Maß für den mehr oder minder starken Erdschluß. Wie man den Ort des Erdschlusses auffindet und ihn beseitigt, gehört nicht zu unserem Thema.

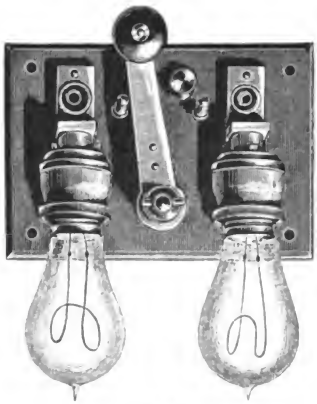


Fig. 96.

X. Aufstellung, Behandlung und Betrieb der Batterien.

Die Aufstellung der Batterie soll in einem kühlen Raume erfolgen. Die Zellen sollen übersichtlich und leicht zugänglich angeordnet werden; alle Unterlagen der Zellen und diese selbst sollen aufs sorgfältigste isoliert werden.

Das Gerüst zur Aufstellung, auf welchem die Zellen ruhen, soll in einem hellen, gut ventilierten Raume Aufstellung finden. Für stationäre, nicht zu große Batterien konstruiert man ein Gerüst aus Holzbalken.

Das Holz muß mit Carbolineum gegen Fäulnis geschützt werden, es ist z. B. wie in der Fig. 97 zu konstruieren und gegen den Fußboden durch flache starke Glasplatten zu isolieren. Jede Zelle steht in einem flachen Holzkasten, welcher unten auf vier Ölisolatoren Fig. 98 ruht. Sehr große Batterien stellt man entweder in einer besonderer Halle zu ebener Erde auf, oder man bildet durch eine Eisenkonstruktion zwei Stockwerke, auf welcher die Holzunterlagen ruhen.

Digitized by Google

Bei Straßenbahnwagen muß man auf Glasisolatoren verzichten.

In allen Fällen ist es sehr wichtig, daß die Abstände der Platten völlig gleich groß sind. Wo dies nicht der Fall ist, arbeiten die Platten ungleichmäßig und werfen sich dann leicht. Es sind das Konstruktionsfehler, welche von vornherein durchaus zu vermeiden sind.

Die Zellen für Straßenbahnbetrieb ordnet man in vielen Fällen in den Personenwagen selbst unter den Sitzen an, entweder indem man sie in zwei Sätzen vom Ende des Wagens oder in vier Sätzen von der Seite des Wagens hineinschiebt. Die Zellen jedes Satzes ruhen auf einem gemeinschaftlichen Brett, auf dem man als Unterlage für das Isoliren der Zellen zwei Gummistreifen aus bestem Paragummi vermittelst einer

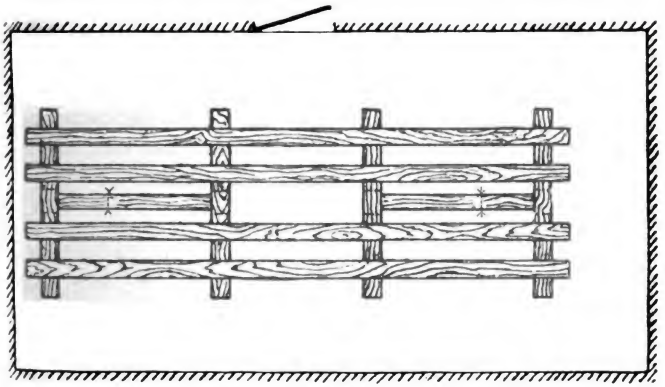


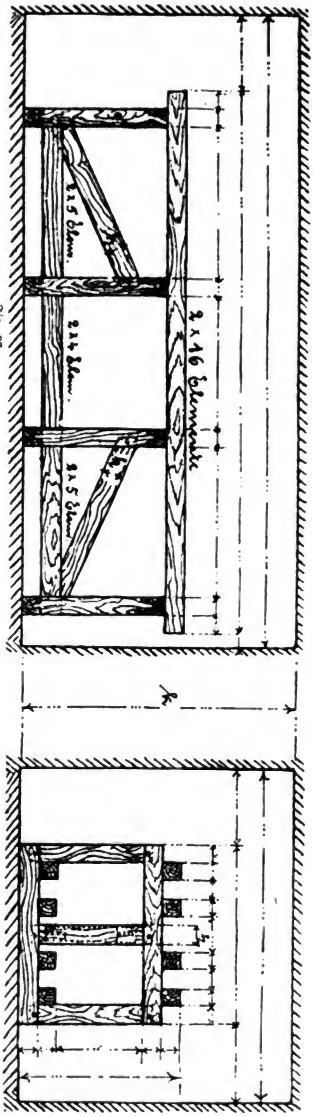
Fig. 97a.

Gummilösung (Paragummi in Schwefelkohlenstoff) befestigt hat. Der Länge nach sind die Zellen zwischen den Seitenwänden durch starkes Papier voneinander isoliert, das zuvor mit heißem Schellack bestrichen ist.

Die Verbindungen zwischen den Zellen stellt man aus Bleistreifen her, die mit den Elektroden verlötet werden. Bei Straßenbahnzellen wendet man wohl auch Schraubenbolzen an, die sich jedoch mitunter lockern. Die weiteren Verbindungen bei stationären Batterien nach dem Verteilungsschaltbrett fertigt man aus Kupferschienen, welche mit säurefester Farbe angestrichen werden.

Die mit Kalk verputzten Wände und Decken der Accumulatorenräume streicht man am besten gleichfalls mit säurefester Farbe an, die sich auch

Digitized by Google



zum Anstrich von Holzteilen eignet, welche zuvor gegen Fäulniß imprägniert sind. — Für Straßenbahnwagen nimmt man zur Verbindung der Zellen mit den Schaltern verbleite, isolierte Kupferseile, sogen. Bleikabel.

Die Aufstellung der Accumulatoren in Elektrizitätswerken erfolgt am besten in der Weise, daß man die Zellen übersichtlich in 1—2 Etagen anordnet und so disponiert, daß überall genügende Gänge vorhanden sind, um bei der Bedienung, Beaufsichtigung und beim Auswechseln von Zellen oder Platten leicht heranzukönnen. Zu diesem Zweck wird man sie gewöhnlich in großen Hallen aufstellen, in denen ein Laufkrahn das Anheben einer ganzen Zelle, wo nötig, gestattet. Die Anordnung der Platten in einer Zelle pflegt man gewöhnlich so zu treffen, daß immer eine positive und eine negative sich abwechseln, jedoch derart, daß zu beiden Seiten je eine negative sich befindet, hieraus folgt, daß immer eine negative mehr sein muß als positive. Alle positiven und alle negativen einer Zelle werden dann durch entsprechend starke Bleistücke, Bleistäbe oder Bleiplatten miteinander verbunden, indem man die an den Platten befindlichen Lappen (oder Fahnen) an diese Verbindungsstücke anlötet. Alle Zellen einer Reihe pflegt man hintereinander zu schalten, natürlich unter Berück-

Digitized by Google

sichtigung der für die nötige Spannung überhaupt erforderlichen Anzahl von hintereinander geschalteten Zellen. Die Verbindungen der einzelnen Reihen zu parallel geschalteten Gruppen wird gewöhnlich in der Weise bewirkt, daß man Kupferschienen von den entsprechenden Zellen senkrecht nach oben führt, durch Porzellan genügend isoliert und diese Kupferschienen bis an das Schaltbrett weiterleitet. An dem Schaltbrett befinden sich zunächst ein Paar Bleisicherungen und ein automatischer Ausschalter, welcher so eingerichtet ist, daß er unter allen Umständen, sobald die Stromstärke, sei es beim Laden oder Entladen, eine gewisse Grenze überschreitet, in Funktion tritt und die Leitung unterbricht. Natürlich wird man diesen automatischen Ausschalter so wählen, daß er das Maximum der zulässigen Stromstärke noch sicher leitet, ohne in Thätigkeit zu treten; für das Laden ist es jedenfalls von Vorteil, wenn er die Anwendung einer zu hohen Stromstärke nicht gestattet. Außer den genannten Apparaten pflegt man an dem Schaltbrett auch den Zellenschalter anzubringen, dessen Zweck und Einrichtung in einem andern Kapitel genauer beschrieben ist.

Fig. 98.

Die richtige Wartung und Behandlung der Accumulatoren ist für deren Haltbarkeit und gutes Funktionieren eine große Hauptsache. Das erste ausführliche Buch über dieses Thema rührt von Sir David Salomons, deutsch von J. L. Huber her, dasselbe bezieht sich zwar ausschließlich auf die Platten der E. P. S. Company von 1887, ist jedoch im allgemeinen bis heute noch und auch für alle anderen Systeme maßgebend. Gerade so wie unsere heutigen Elektrizitätszähler einer sorgfältigen Behandlung bedürfen, um richtig zu funktionieren, ebenso ist es mit den Accumulatoren der Fall. Leute, die glauben, daß sie in dem Accumulator eine bequeme Kraftquelle stets zur Hand haben, die keiner Wartung bedürfte, befinden sich im großen Irrtum, und sie würden gut thun, wo eine Wartung ausgeschlossen ist, lieber auf die Anwendung der Accumulatoren zu verzichten. Es ist gut, wenn man die Platten gleich nach ihrer Ankunft auspackt, sie möglichst schnell aufstellt und verbindet und die Zellen mit verdünnter Schwefelsäure von 1,150 spez. Gewicht (19° Beaumé) derart füllt, daß die Säure 1 cm über die Oberkante der

Digitized by Google

Platten herausragt. Die Säure soll chemisch rein sein, oder wo dies nicht zu erreichen ist, darf sie wenigstens weder Chlor noch Arsen oder Eisen enthalten. Sind die Zellen gefüllt, so soll man ohne Zeitverlust auch mit dem Laden beginnen und zwar so lange mit dem Laden fortfahren, bis eine kräftige Gasentwickelung entsteht. Während des Ladens thut man gut, alle Verbindungen, die etwa nicht gelötet sind, sondern nur durch Schrauben oder Klammern hergestellt sind, nochmals zu untersuchen und sich durch das Gefühl zu überzeugen, ob irgend eine Stelle warm wird. Ist dies der Fall, so ist es ein Zeichen, daß an dieser Stelle schlechter Kontakt stattfindet, man hat dann dafür zu sorgen, daß die Verbindungsstelle rein und von neuem innig hergestellt wird. Bei kleineren Batterien pflegt man wohl die Verbindungen auch durch Klemmschrauben herzustellen, die man mit Mennige oder Paraffin überzieht. Am besten ist jedoch der Anstrich mit einer säurefesten Farbe.

Die Arbeiter, welche mit Accumulatoren zu thun haben, tragen am besten eine Kleidung aus reiner Wolle, welche von der Säure nicht angegriffen wird, oder sie müssen wenigstens eine Schürze aus diesem Stoff umbinden. Die Stiefel werden am besten mit einer Mischung von Paraffin und Wachs sorgfältig geschmiert; es ist gut, die Hände öfter in einer Sodalösung zu waschen und vor allem darauf zu achten, daß man die bleihaltigen Finger nicht mit Speisen oder mit dem Munde in Berührung bringt. Flecke, die etwa in der Kleidung entstanden sind, kann man durch Betupfen mit einer Amoniaklösung entfernen, wenn dies sofort geschieht, anderenfalls entstehen leicht Löcher. Platten, die schon einmal in Gebrauch waren, darf man möglichst nicht ohne Säure stehen lassen, da sie in diesem Falle aus der Luft Sauerstoff aufnehmen und sehr heiß werden, wodurch ihre Brauchbarkeit vermindert wird. Besonders tritt dies bei den negativen Platten ein. Auf keinen Fall darf man Platten mit Wasser abwaschen, es geschieht dies auch besser mit verdünnter Säure. Es empfiehlt sich, die näheren Vorschriften der Fabriken über die Behandlung der Zellen genau und gewissenhaft zu befolgen, damit die Fabrik bei irgend welchen Vorkommnissen die Überzeugung erlangt, daß es in dieser Beziehung an nichts gefehlt hat. Es ist gut, etwa eingetretene Fehler möglichst sofort zu beseitigen, da solche Fehler sich beständig zu vergrößern pflegen. Man darf in dieser Beziehung keine falsche Sparsamkeit anwenden und besonders nur gute Säure verwenden, alte Säure jedoch niemals zum Betriebe, sondern nur zum Abwaschen der Platten oder auch zur Ausrottung von Unkraut in Gärten auf den Wegen gebrauchen. Was die Regulierung der Stromstärke und der Spannung beim Laden anbetrifft, so ist davon schon an verschiedenen Orten ausführlich gesprochen worden. Es wurde

Digitized by Google

ausgeführt, daß das rationellste Laden in der Weise geschieht, daß man mit konstanten Volt-Amp. ladet.

Der Elektrolyt für die Füllung der Accumulatoren ist genau mit dem spez. Gewicht herzustellen, wie er am wenigsten Widerstand leistet und wie er von der Fabrik von vorneweg bei der Lieferung der Accumulatoren vorgeschrieben ist. Wie schon oft wiederholt, beträgt dasselbe bei normalen Verhältnissen für stabile Zellen 1,150. Jede Änderung der Dichtigkeit erhöht den Widerstand der Zellen, und da der Widerstand bei der Ladung zunimmt, bei der Entladung abnimmt, so ist man wie gesagt, in der Lage, durch das spez. Gewicht den Grad der Ladung resp. Entladung zu ermitteln. Man bedient sich für diesen Zweck des bekannten Säuremessers. Derselbe ist eine dünne schmale Röhre von etwa 3 mm Durchmesser, am unteren Ende mit Schrot beschwert und oben mit einer Teilung versehen, auf der man das spez. Gewicht ablesen kann. Es ist allerdings nicht immer die Angabe des Säuremessers zuverlässig und zwar aus dem einfachen Grunde, weil einmal die Adhäsion des Glases an den Platten und die verschiedene Dichtigkeit sowohl zwischen den einzelnen Platten, als auch besonders in der verschiedenen Höhelage mitunter ganz bedeutende Fehler herbeiführen kann. Wenn man andrerseits den Säuremesser nicht zwischen die Platten, sondern in eine Ecke der Zelle bringt, so wird man nicht genau das spez. Gewicht der Säure zwischen den Platten erhalten. In jedem Falle wird man gut thun, wenn möglich sämtliche Zellen von Zeit zu Zeit mit dem Säuremesser zu kontrollieren und tabellarisch eine Übersicht anzufertigen, damit man allmählich den Gang des spez. Gewichts beurteilen lernt. Man hat versucht, Säuremesser zu konstruieren, welche mit einem elektrischen Kontakt versehen sind und auf diese Weise das Ende der Ladung resp. Entladung durch ein Glockenzeichen angeben. Aus dem eben angeführten Grunde hat sich dieser Apparat jedoch als nicht zuverlässig erwiesen, und man wird immer gut thun, auch neben dem spez. Gewicht das Aussehen der Platten und vor allen Dingen auch das Maß der Gasentwickelung zu beobachten. Eine weiterer maßgebender Faktor ist außerdem die Farbe der Platten. Die positiven Platten haben eine braune bis bläulich schwarze Farbe, die auch je nach dem Grade der Ladung oder Entladung in gewissen Grenzen wechselt, während die negativen Platten mehr das metallische Aussehen, also eine mehr bläulich weiße Farbe zeigen. Wie schon an andern Orten angeführt, ist es nicht möglich, die Accumulatorentechnik in Bezug auf Fabrikation wie auch in Bezug auf Behandlung reinweg nur durch ein Buch lernen oder lehren zu wollen; es ist Sache der Praxis, in allen Dingen das Richtige zu treffen. Außer der richtigen Zusammensetzung der verdünnten Schwefelsäure muß man vor allen

Digitized by Google

Dingen auch darauf halten, daß die Platten genügend mit Säure bedeckt sind, d. h. daß der Elektrolyt ein konstantes Niveau hat, und man wird gut thun, entweder durch Wasser oder je nach Befinden durch verdünnte Säure von geeigneter Konzentration die Niveaufläche zu erhalten. Sobald die Zellen geladen sind, hört der Säuremesser auf zu steigen und wenn mit annähernd dem Maximalstrom geladen wird, so wird sehr bald eine lebhafte Gasentwickelung eintreten, die man auch in der Praxis als Kochen bezeichnet. Wenn gut geladene Platten aus irgend einem Grunde aus den Zellen herausgenommen werden müssen und dann also wieder Säure von 1,150 spez. Gewicht zur Benutzung kommt, so wird das spez. Gewicht durch fortgesetztes Laden kaum merklich beeinflußt werden, bei der Entladung jedoch bis auf 1,100 fallen; in diesem speziellen Falle ist es besser, Säure von 1,200 spez. Gewicht zur Anwendung zu bringen; sehr wichtig ist es, niemals in die Zellen konzentrierte Säure zu gießen, sondern stets nur verdünnte Säure zum Nachgießen zu benutzen.

Wenn Zellen von ihrem Platze bewegt werden sollen, die so groß sind, daß man sie ohne zu entleeren nicht transportieren kann, so wird die Säure mit einem entsprechenden Saugheber oder einer Pumpe aus den Zellen entfernt. Es ist dies auch schon aus dem Grunde zu empfehlen, damit ein etwaiger Kurzschluß zwischen den Polen der Zellen keine Entladung herbeiführen kann. Es ist ja ganz natürlich, daß der Kurzschluß einer Zelle sehr verderblich wirkt. In allen den Fällen, wo die Platten ihrer ganzen Konstruktion nach den Strom plötzlich auf einmal abgeben können, wird meistens an irgend einer Stelle einer der Pole abschmelzen und damit weiterer Schaden verhindert werde. Andererseits kann eine plötzliche und rapide Gasentwickelung eintreten, die ein Herumspritzen der Säure und somit eine Verletzung besonders der Augen herbeiführen kann.

Wir kommen hier nun bei dieser Gelegenheit noch zu einem speziellen Thema. Es betrifft dies diejenige Vorkehrung, welche dazu dient, die Verdunstung der Säure in den Zellen zu verhindern. Man hat hierzu die verschiedensten Vorkehrungen angewendet. Es ist jedoch wohl keine derselben zu allgemeiner Anwendung gelangt. Eine der einfachsten Vorrichtungen für diesen Zweck ist das Zudecken der Zelle durch eine etwas schräg geneigte Glasplatte. Um dieses machen zu können, ist jedoch Voraussetzung, daß die Verbindungen der Zelle möglichst tief liegen, so daß der Rand der Zelle höher als die Verbindungsstücke sich befindet und nur an den Seiten die Polenden von Zelle zu Zelle darüber hinausragen. Diese Anordnung ist natürlich nur bei kleineren Zellen möglich. Bei großen Anlagen, bei denen Tausende von Ampères den Zellen entnommen werden und die Verbindungsstücke infolgedessen starke Bleibarren bilden,

Digitized by Google

ist eine solche Vorkehrung absolut ausgeschlossen und beim Nachsehen d. Z. auch hinderlich. Hier muß man entweder auf jegliche Vorkehrung in dieser Hinsicht verzichten, oder man wendet einen Aufguß von Öl, mitunter auch von Paraffin an. Das für diesen Zweck verwendete Öl muß absolut rein sein und darf vor allem keine Säure enthalten. Es muß also hohe isolierende Eigenschaften haben, da bei einem geringsten Gehalt an Säure eine Zersetzung durch den elektrischen Strom eintreten würde. Die Anwendung von Paraffin hat wieder den Übelstand, daß die Gase schwer entweichen können, und man muß in diesem Falle durch kleine Glasröhren für Abzug der Gase Sorge tragen. In welcher Weise man bei transportablen Zellen speziell bei Straßenbahnzellen dieser Rücksicht Rechnung trägt, haben wir an anderer Stelle schon erörtert.

Verfasser hat selbst schon gelegentlich geladene Zellen in der Weise transportiert, daß die Säure durch einen biegsamen Gummischlauch, der als Heber diente, entfernt wurde, die Zellen dann an einen anderen Ort transportiert und wieder gefüllt wurden und dann auch sofort zur Stromlieferung bereit waren. Natürlich war in diesem Falle ein besonderer Verlust von ca. 25% vorhanden; es war immerhin jedoch möglich, den Anforderungen in Bezug auf die Stromlieferung gerecht zu werden. — Die ganze Aufmerksamkeit, welche die Accumulatoren verlangen, bezieht sich lediglich auf die positiven Platten, welche ja allein einer Abnützung unterworfen sind. Dasjenige Mittel, welches man am einfachsten und schnellsten für die Kontrolle des Zustandes der Accumulatoren anwenden kann und auch stets anwenden wird, ist, die Spannung jeder Zelle mindestens alle Wochen zu messen. Zu diesem Zwecke bedient man sich entweder eines Voltmeters, der bis zu 3 Volt zeigt und noch Zehntel Volt abzulesen gestattet, oder man nimmt eine kleine Glühlampe, welche bei 2 Volt normal glüht, und die an einem bequemen Halter mit ein Paar kurzen Leitungen befestigt ist. Eine Zelle, welche keine Spannung zeigt, muß sofort ausgeschaltet und untersucht werden. Gewöhnlich pflegen solche Zellen zwischen ihren Platten Kurzschluß zu haben. Hat man eine neue Zelle eingeschaltet, welche noch zu wenig Ladung hat, so ist es am besten, dieselbe an beiden Polen während der Entladung aus und während der Ladung wieder einzuschalten. Sehr wichtig ist natürlich, daß alle Zellen auch mit den richtigen Polen verbunden werden. Ist man hierüber im Zweifel, so prüft man die Polarität der Dynamos entweder mit Polreagenzpapier oder mit dem Berghausenschen Polsucher, wo man beides nicht zur Hand hat, durch ein aus 2 blanken Bleiplatten gebildetes Voltameter, welches man mit verdünnter Schwefelsäure füllt. Wenn man einen solchen Apparat in den Stromkreis einschaltet, so wird sehr bald

Digitized by Google

diejenige Platte, welche mit dem positiven Pole der Dynamo verbunden ist, sich braun färben. Es ist also die Accumulatorenzelle in der Weise zu verbinden, daß man die braune Platte auch mit diesem Pol in Verbindung setzt. Ist man gezwungen, wie dieses besonders bei Straßenbahnzellen vorkommt, welche nicht durch ein für diesen Zweck errichtetes Werk geladen werden sollen, mehrere Reihen von Zellen beim Laden parallel zu schalten, so ist es absolut notwendig, für jede Reihe den Ampèremeter einzuschalten und durch Vorschalten eines Regulierwiderstandes die Stromstärke in den angegebenen Grenzen zu regulieren. Es ist dieses ein sehr wichtiger Umstand, dem viele nicht die nötige Wichtigkeit beilegen.

Absolut notwendig ist die Anwendung von Regulierwiderständen für jede Reihe dann, wenn die Anzahl der Zellen der einzelnen Reihen ungleich ist. Dies kommt natürlich daher, daß eine Reihe, welche weniger Zellen enthält, einen geringeren Widerstand besitzt. Infolgedessen wird die Stromstärke dieser Reihe größer als die der anderen sein. Die Reihe wird dann, mit zu hoher Stromstärke geladen, entweder Schaden nehmen oder früher als die anderen geladen sein. Aus diesem Grunde sucht man die parallele Schaltung von Reihen besonders bei Beleuchtungsanlagen möglichst zu vermeiden, einmal, weil man durch Vorschalten von Widerständen unnötig Kraft verliert, und dann, weil die Regulierung der Stromstärke jeder Reihe eine größere Aufmerksamkeit erfordert, so daß event. die Zellen einer Reihe durch zu starken Strom beschädigt werden können.

Man hat für die Zwecke der Parallelschaltung, der Reihenschaltung für die Reservezellen zum Nachschalten und für das Ein- und Ausschalten der Dynamos die verschiedensten Apparate ersonnen, welche teils von Hand, teils automatisch durch den Strom selbst bedient werden, sie haben sich jedoch in den seltensten Fällen als praktisch erwiesen. Dem Verfasser sind zahlreiche Fälle bekannt, woselbst die automatischen Zellenschalter den größten Teil der Zeit still gesetzt und von Hand bedient werden. Einige dieser Vorkehrungen haben wir in einem früheren Kapitel schon näher kennen gelernt. Es möge hier nur kurz noch einer Vorkehrung Erwähnung geschehen, welche in vielen Fällen sich als sehr nützlich gezeigt hat. Es ist dieses ein automatischer Ausschalter, der den Zweck hat, beim Laden die Verbindung zwischen den Accumulatoren und der Dynamomaschine in dem Augenblick aufzuheben, wo die Umdrehungen der Maschine, also deren Spannung, zu gering werden, so daß die Gegenspannung der Accumulatoren die Spannung der Dynamo überwiegen und dieselbe und diese sich in die Maschine entladen würden. Die automatischen Ausschalter allein würden in diesem Falle von wenig Nutzen sein, da dieselben zwar den Strom unterbrechen, ihn jedoch nicht wieder herstellen. Man bedarf also

Digitized by Google

einer Vorkehrung, welche in dem Augenblick wieder den Kontakt herstellt, wenn die Dynamomaschine die richtige Spannung wieder erreicht. In anderen Fällen wird man einfach den automatischen Ausschalter mit einem Alarmapparat versehen, welcher anzeigt, sobald die Ladung unterbrochen ist. Dieses wird bei kleineren Privatanlagen von Vorteil sein, z. B. beim Laden mit einer Petroleum- oder Gasmaschine, die gewöhnlich bei kleinen Anlagen ohne Bedienung arbeiten. In diesem Falle genügt es, wenn also ein Signal erfolgt, welches anzeigt, daß die Maschine nicht genügend funktioniert.

Der Lötapparat und das Löten.

Das Löten der Verbindungen soll niemals mit Zinn, sondern stets mit Blei erfolgen. Das Löten mit dem Kolben unter Anwendung von Chlorblei ist unsicher und nur als Notbehelf zu betrachten. Als Regel gilt, daß alle Lötstellen mit dem Wasserstoff-Lötapparat ausgeführt werden.

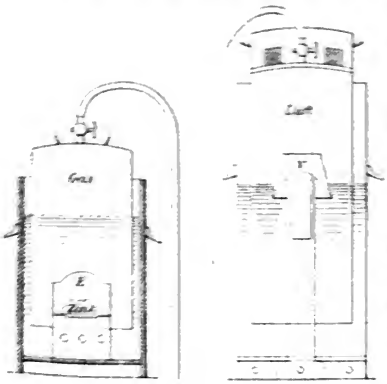
Der Lötapparat besteht aus zwei Behältern, von denen der eine Wasserstoff, der andere Luft der Lötflamme zuführt. Die Erzeugung des Wasserstoffes geschieht am besten in dem in Fig. 99 abgebildeten Apparat.

Das Löten.

Der Entwickeler für den Wasserstoff besteht aus einem Holzkübel, der innen mit Blei ausgekleidet ist, auf dessen Boden befindet sich ein Bleieinsatz mit durchlöchertem Boden. Auf diesen legt man Zinkstücke, welche durch verdünnte Schwefelsäure aufgelöst werden und bei der Auflösung Wasserstoff erzeugen. Der Wasserstoff sammelt sich in einer nach unten offenen Haube und wird durch einen Gummischlauch nach dem Hahn des Mischhahns geleitet. Der zweite Apparat ist ähnlich konstruiert und besteht aus Zinkblech. Das äußere Gefäß ist halb mit Wasser gefüllt, die Luft ist in einer Haube enthalten, welche durch einen Gummischlauch dieselbe nach dem Hahn B abgiebt. Der obere Boden der Haube hat eine Vertiefung, um Steine zur Belastung aufzulegen. Es ist für die Gesundheit der Arbeiter sehr wichtig, daß für die Gasentwickelung reine Arsenik- und chlorfreie Schwefelsäure zur Verwendung kommt, damit die Verbrennungsgase keinen schädlichen Einfluß auf die Lunge der Arbeiter ausübt. Beim Entzünden der Stichflamme an dem Mischhahn muß unter allen Umständen zunächst der Hahn A für den Wasserstoff geöffnet werden, und nachdem dieser entzündet ist, darf erst die Luft durch den Hahn B hinzu-

Digitized by Google

gelassen werden. Die Belastung des Entwickelers reguliert die Länge der Entflammung. In der Mitte des Mischhahns ist ein Sieb angebracht, damit bei einem etwaigen



Hineinschlagen der Flamme in das Lötrohr die Flamme nicht rückwärts schlagen und eine gefährliche Explosion hervorrufen kann. Ist der Schlauch vom Entwickeler zum Mischhahn sehr lang, so muß ein kleiner Kondenstopf aus Blei eingeschaltet werden, damit das mitgerissene Wasser sich hier abscheidet. Ist die Luft aus der Haube verbraucht, so hebt man dieselbe an Handgriffen in die Höhe, läßt neue Luft einströmen, und der Betrieb kann nunmehr fortgesetzt werden. Beim Löten ist die in Fig. 100 abgebildete Lötzange sehr bequem, welche zur Seite ein verschiebbares Blatt trägt, das dazu dient, das Herabfließen des Bleies zu verhindern.

Fig. 100.

Übersicht der zu verrichtenden Arbeiten für die Aufstellung von Accumulatoren.

Die Werkzeuge, welche für die Aufstellung einer nicht transportablen Accumulatorenanlage notwendig sind, weichen von denjenigen, die man allgemein bei elektrischen Anlagen verwendet, nur insofern ab, als besondere Werkzeuge für das Löten und die Behandlung der Bleiplatten u. s. w.

Digitized by Google

notwendig sind. Zu denselben gehören: Halbrunde Raspel, Universal-Lötzangen, Bleischneidezangen, Bleibürste, Lötrohre, Bleilötapparat mit Sicherheitsschaltung, Gummischlauch, Mischhahn, Klemmen für die Bleileisten, Asbestpappe zum Schutz der Zellen beim Löthen.

Die zu verrichtenden Arbeiten sind kurz gefaßt folgende: Zunächst ist zu prüfen, ob der zur Aufstellung der Accumulatoren in Aussicht genommene Raum hierzu auch geeignet ist. Derselbe soll so groß sein, daß rings um die Reihe der Zellen ein freier Gang von 75 cm bleibt. Der Raum darf nicht zu niedrig sein, damit man beim Nachsehen der Platten nicht behindert ist. Die Temperatur des Raumes soll diejenige im Freien nicht überschreiten, auch soll der Raum möglichst trocken sein. Feuchte Räume sind unter allen Umständen für einen guten Accumulatorenbetrieb nicht geeignet. Es muß ferner ein Abzug der Säuredämpfe ins Freie stattfinden können. Der Putz an der Decke darf nicht in die Zellen fallen und sollte man vor der Aufstellung der Zellen entweder den Raum neu putzen lassen und mit säurefester Farbe anstreichen, oder eine geteerte Holzverkleidung anbringen. Der Fußboden wird am besten gleichfalls geteert und mit Glasstaub bestreut, wie er in der Glaspapierfabrikation verwendet wird.

Es ist sehr wichtig, daß die Zellen nicht vom Sonnenlicht beschienen werden, da hierdurch unnötigerweise eine Gasentwickelung in der Ruhe entstehen könnte. Wo es also nicht möglich ist, die Zellen durch ihre Aufstellung dem Sonnenlicht zu entziehen, muß man matte Glasscheiben für die Fenster anwenden oder sie durch Anstrich von weißer Farbe matt machen. Hierzu eignet sich am besten weiße Ölfarbe, welche auf das Glas aufgetupft wird. Der Kalkanstrich ist nicht so dauerhaft. Ist die Schwefelsäure nicht aus einer bekannten und zuverlässigen Fabrik bezogen worden, so empfiehlt es sich, sie auf ihre Reinheit zu untersuchen und dies durch einen Chemiker am Orte oder durch die Accumulatorenfabrik bewirken zu lassen. Wie schon öfter erwähnt, ist erste Bedingung eine chlor- und arsenfreie Schwefelsäure von einem bestimmten spezifischen Gewicht.

Der Aufbau der Zellen setzt sich aus folgenden Arbeiten zusammen:

1. Aufstellen des Gerüstes,
2. Aufstellen der Gefäße,
3. Einbringen der Platten,
4. Zusammenpassen der Bleiverbindungsstücke,
5. Löten der Bleiverbindungen,
6. Anbringen und Verlöten der Verbindungen von Reihe zu Reihe,

Digitized by Google

7. Anschluß der Zellenschalter und sonstige Anschlußleitungen,
8. Befestigung der Nebenapparate,
9. Untersuchung des Ladeapparats, Prüfung der Gesamtarbeit,
10. Einfüllen der Säure,
11. Erstmaliges Laden,
12. Prüfung des Fassungsvermögens der Batterie,
13. Aufräumungsarbeiten.

Die Verbindungsstücke zwischen den Platten und Zellen, welche aus Bleileisten hergestellt werden, berechnet man gewöhnlich derartig, daß 6 qumm Blei-Querschnitt für 1 Amp. genommen werden. Die meisten Fabriken fertigen 3 verschiedene Größen von Platten, um Zellen von verschiedener Leistungsfähigkeit aus diesen herzustellen. Man pflegt daher 3 verschiedene Stärken von Bleileisten je nach Anzahl und Größe der Platten vorrätig zu halten.

An Stellen, wo keine Blei-, sondern Kupferverbindungen aus rundem Kupferdraht oder flachen Kupferschienen herzustellen sind, verwendet man gewöhnliche Polschuhe, die kurze Stutzen auf einer Grundplatte enthalten. Der Stutzen wird mit der Kupferleitung gut verlötet und die Grundplatte dann auf den Bleiverbindungen durch Bleiloth befestigt. Die Kupferstücke müssen vorher gut verzinnt werden, damit eine innige Verbindung mit dem später aufgebrachten Bleilot hergestellt wird. Es darf jedoch die Verbindung zwischen Zinn und Blei nur durch die Wasserstoffflamme des Lötapparats hergestellt werden. Die Anzahl der zur Anwendung kommenden Polschuhe richtet sich natürlich nach der Anzahl der Kupferleitungen und diese wieder nach der Anzahl der Kontakte an den Schaltapparaten. Bei sehr hohen Stromstärken sind event. mehrere Polschuhe mit mehreren Kupferschienen anzubringen, welche zusammen den erforderlichen Querschnitt ergeben. Unter keinen Umständen darf ohne Anwendung der Sicherheitsschaltung (welche aus 4 Drahtsieben besteht), der Löthapparat in Thätigkeit gesetzt werden.

Es ist äußerst wichtig, daß sofort nach Beendigung des Einfüllens der Säure auch das Laden beginnen kann, damit keine schädliche Sulfatbildung auf den negativen Platten eintritt. Ist die Säure jedoch eingefüllt worden, ohne daß sofort das Laden begann, so muß die erste Ladung bedeutend länger fortgesetzt werden, als es sonst nötig wäre. Gleich beim ersten Laden pflegt man eine Tabelle anzulegen, auf welcher der Säuregehalt nach spezifischem Gewicht oder nach Beaumé für jede Zelle notiert wird.

Der Säuregehalt soll zu Beginn 19° Beaumé betragen. Man hat mithin folgende Notizen zu machen:

Digitized by Google

1. Säuregehalt vor dem Einfüllen,
2. Säuregehalt nach dem Einfüllen,
3. Säuregehalt nach beendeter Ladung.

Bei der ersten Ladung läßt man den ganzen Strom auf die Accumulatoren wirken und keine Lampen weiter mitbrennen. Bei Beginn der Ladung pflegt man die Spannung so zu regulieren, daß sie etwa 5 Volt mehr beträgt als die Spannung der Batterie. Die erste Ladung macht man mit der größten Stromstärke, für welche die Zellen gebaut sind. Kann man mit der vollen Stromstärke laden, so ist es gut, die erste Ladung 30 Std. fortzusetzen. War es nicht möglich, die volle Stromstärke anzuwenden, so ladet man, wenn irgend möglich, 40 Std.

Die erste Ladung kann man als beendet betrachten, wenn der Säuregehalt in den letzten 4 Std. in allen Elementen nicht mehr gestiegen ist und die Spannung der Zellen 2,5—2,65 während dieser Zeit betragen hat. Solange noch eine Steigerung des Säuregehaltes zu konstatieren ist, ist noch nicht alle wirksame Masse genügend in Thätigkeit getreten und also noch nicht die genügende Menge Bleioxyd in Bleisuperoxyd übergeführt resp. an den negativen Platten das Bleioxyd zu schwammigem Blei reduziert worden. Es ist sehr wichtig, daß die erste Ladung ohne die geringste Pause vorgenommen, also Tag und Nacht fortgesetzt wird. Die Gasentwickelung an den positiven Platten pflegt bald nach Beginn der Ladung einzutreten. Sind Platten vorhanden, welche diese Gasentwickelung nicht zeigen, so ist gewöhnlich Kurzschluß vorhanden, der durch ein schmales Stückchen Holz sofort zu beseitigen ist. In Zellen, wo etwa die positiven Platten nicht mit den anderen zugleich die Gasentwickelung beginnen, sollte man alle 2 Std. den Säuregehalt untersuchen. Die Gasentwickelung auf den negativen Platten beginnt erst, nachdem die Ladung schon längere Zeit gedauert hat. Die erste Entladung pflegt man mit derjenigen Stromstärke vorzunehmen, welche vom Lieferanten garantiert ist, so daß hierbei gleich eine Kontrolle auf die garantierte Kapazität stattfinden kann. Die Entladung wird ohne Rücksicht auf die Kapazität so lange fortgesetzt, als die Spannung noch nicht unter die normale gesunken ist.

Da jeglicher Fehler in einer Zelle sich sofort durch Zurückbleiben der Gasentwickelung bemerkbar macht, ist es nicht schwer, durch stetige Beobachtung diejenigen Zellen zu ermitteln, welche irgend einen Mangel aufweisen. Bei einiger Aufmerksamkeit kann also jeder Wärter sofort Abhilfe schaffen. Besonders in Anlagen, welche die Accumulatoren nicht regelmäßig und beständig entladen, empfiehlt sich von Zeit zu Zeit eine Überladung vorzunehmen und die Säure sorgfältig zu messen. Jede

Digitized by Google

Accumulatorenfabrik pflegt bei der Übergabe einer fertigen Batterie ausführliche Bedienungsvorschriften dem Wärter auszuhändigen. Es empfiehlt sich, einen täglichen kleinen Bericht über Ladung und Entladung aufzustellen und von Zeit zu Zeit dem Lieferanten hiervon Abschrift zu geben, damit derselbe in der Lage ist, etwa eingetretene Fehler baldigst abstellen zu können. Der besseren Kontrolle wegen pflegt man die einzelnen Zellen mit Nummern zu versehen, welche in dem Tagesbericht bei vorkommenden Defekten angegeben werden.

Hauptsache bleibt immer die sofortige Entdeckung und Beseitigung von Kurzschlüssen zwischen den Platten. Das sicherste Zeichen des Kurzschlusses ist das, wenn eine Zelle nicht gleichzeitig und gleichmäßig mit den übrigen zur Gasentwickelung kommt. Die Ursachen der Kurzschlüsse sind sehr verschiedenartig. Sie entstehen oft dadurch, daß beim Aufbau der Platten oder beim Löten Holz- oder Metallteile während des Betriebes oder beim Aufbau hineingefallen sind. Um diese Zufälle mit Sicherheit zu vermeiden, empfiehlt es sich, sowohl die Gefäße als die Platten vor ihrer Aufstellung sauber zu reinigen, so daß fremde Körper nicht gut hineingeraten können. Des weiteren ist es sehr wichtig, daß die Glasscheiben, auf welchen die Platten der verschiedenen Systeme ruhen, beim Hin- und Herschieben der Platten an ihren rauhen Kanten nicht Metallteile aufnehmen, die unter Umständen eine leitende Verbindung zwischen den einzelnen Platten herstellen könnten. Es muß überhaupt alles vermieden werden, was dazu beitragen könnte, bei dem späteren Betrieb sich etwa ablagernde Oxyde zwischen den Platten festzuhalten, so daß sie nicht auf den Boden des Gefäßes hinunterfallen können und dann unschädlich sind. Ehe die Säure eingefüllt wird, sollte man sorgfältig nachsehen, daß nicht etwa beim Löten herabgeflossenes Blei irgend wie zwischen den Platten hängen geblieben ist. Des weiteren ist auch darauf zu achten, daß von dem Korbgeflecht, mit welchem die Säureballons umgeben sind, beim Ausgießen der Säure nichts in dieselbe gelangt. In Fällen, in denen die Säure weder durch eine Pumpe, noch durch einen Gummischlauch, oder durch einen Heber abgefüllt wird, wo also der Ballon behufs Entleerung gekippt wird, thut man gut, denselben mit einem großen Stück Sackleinewand zu überbinden, welches nur den Hals des Ballons frei läßt. Auf diese Weise verhindert man am besten, daß Stroh- oder Geflechtteile in die Säure geraten. Um irgendwie hängen gebliebene Teile zwischen den Platten zu beseitigen, durchfährt man die Zwischenräume entweder mit einem schmalen Holzstäbchen oder einer feinen schmalen Bürste. Haben sich einige Platten aus irgend welcher Ursache ein wenig gekrümmt, so braucht man dieselben noch nicht zu entfernen,

Digitized by Google

sondern es genügt, wenn man 1 oder 2 Glasrohre an den betreffenden Stellen senkrecht dazwischen schiebt, um den Kontakt der gekrümmten Platten mit den nächststehenden zu verhindern. Entsteht das Krümmen der Platten zufolge mangelhafter Wartung, so bildet sich auf den positiven Platten ein hartes Sulfat, welches bei ungenügender Ladung oder bei Kurzschluß in den Zellen, beim Laden nicht oxydiert wird, sondern nach und nach erhärtet. Solche Platten bekommen ein grauweißes Aussehen und fühlen sich hart und rauh an, während gut gehaltene positive Platten stets eine sammetweiche Oberfläche haben. Letzteres ist das beste Zeichen einer normalen Beschaffenheit der positiven Platten. Das Krümmen von hart gewordenen Platten ist ein sicheres Zeichen weit vorgeschrittener, harter Sulfatbildung, welche dann während des gewöhnlichen Betriebes nicht mehr zu beheben ist. Solche Platten müssen unter allen Umständen ausgewechselt werden. Bei Zellen, in welchen dieser Fehler noch nicht in zu großem Maße eintritt, kann man nach Beseitigung des Kurzschlusses durch fortgesetztes Laden, ohne die Zellen zu entladen, bald wieder Abhilfe schaffen. Das Element muß natürlich zu diesem Zwecke an beiden Polen durch Zerschneiden der Bleileisten ausgeschaltet und beim Laden durch entsprechende Klemmen und Kupferdrähte wieder eingeschaltet werden.

Die Holzzellen, welche äußerlich gewöhnlich mit einem doppelten Teeranstrich versehen werden, sind zweckmäßig alljährlich einmal mit neuem Teeranstrich, besonders an den Ecken, zu versehen. Um schnelles Trocknen des Teeranstrichs zu bewirken, kann man Siccativ anwenden.

Diejenigen Holzteile, welche dazu dienen, die gläsernen Stützplatten oder die metallischen Endplatten bei den Zellen zu halten, müssen gut mit Paraffin getränkt sein, indem man sie 15 Minuten lang in einem Gefäß mit Paraffin kochen läßt.

XI. Untersuchung der Zellen.

Aufsuchen von Fehlern.

Die tägliche Untersuchung der Zellen einer Batterie erstreckt sich in den meisten Betrieben nur auf das Messen der Spannung einer jeden Zelle, wozu man entweder eine kleine Glühlampe von 2 Volt oder einen Spannungsmesser anwendet, der bis 3 Volt zeigt und noch gestattet, etwa

Digitized by Google

$^1/_{10}$ Volt abzulesen.*) Auch den Aräometer pflegt man täglich in einigen Zellen zu beobachten. Jede Zelle, welche bei diesen Messungen abnorme Ergebnisse aufweist, muß sofort ausgeschaltet und näher untersucht werden. Ist die Säure nicht normal, so setzt man ohne auszuschalten einfach verdünnte Säure zu, und zwar, da das Wasser leicht verdunstet, muß man hierzu verdünnte Säure zusetzen, welche weniger als 10% SO_3 enthält.

Zeigt die Zelle selbst nach dem Laden weniger als 1,9—2,0 Volt Spannung, so sind die Platten herauszunehmen und auf Kurzschluß zu untersuchen, etwa störende dazwischenliegende Teilchen zu beseitigen und die etwa ein wenig gekrümmten Platten vorsichtig gerade zu richten, indem man Brettchen zwischen die zusammen verlöteten Platten legt und sie ein wenig zusammendrückt. Dies ist natürlich nur bei kleineren Platten möglich, bei großen Batterien muß man die Verbindungen ablöten.

Sehr gut ist es etwa alle 14 Tage die Platten mit einer geeigneten feinen Bürste von Staub und Schmutz durch Zwischenfahren vorsichtig zu reinigen, sowie etwa auf den isolierenden Unterlagen sich ablagernde Oxyde zu entfernen. Eine sorgfältige, sachgemäße und vorsichtige Behandlung der Zellen ist der schwierigste aber wichtigste Teil eines dauernden und rationellen Betriebes. Wer diese Sorgfalt nicht verwenden kann, sollte keine Accumulatoren anwenden; die aufgewendete Mühe erspart Zeit, Geld und Ärger, sie macht sich unter allen Umständen bezahlt. Ein jeder Apparat erfordert eine geeignete Behandlung, wenn er dauernd gut funktionieren soll, und die Accumulatoren sind mit die empfindlichsten elektrischen Apparate, die wir haben, sie sind keine Haustelegraphenbatterien, keine Trockenelemente, welche jahrelang ohne jegliche Wartung event. funktionieren.

Die Untersuchung auf die Leistung

wird sich in den meisten Fällen nur auf Spannung, Stromstärke und Kapazität erstrecken können, da Dauerversuche fast nur im praktischen Betriebe gemacht werden.

Was die Zellen leisten können und sollen, sagt fast stets schon der Fabrikant, die Untersuchung kann sich also vornehmlich nur darauf erstrecken, festzustellen, ob die von dem Betrieb gemachten Angaben richtig und die gestellten Ansprüche genügend erfüllt sind.

Die Spannung einer Zelle soll (voll geladen) nicht unter 2,0 Volt sein. Die Stromstärke richtet sich nach der Größe der Zellen und nach der

*) Apparate dieser Art liefern in sehr handlicher Form zu mäßigem Preise die Firmen Hartmann & Braun in Bockenheim und R. Hirth in Basel.

Digitized by Google

Konstruktion der Platten. Jede Fabrik liefert gewöhnlich für die gleiche Kapazität drei verschiedene Sorten von Platten, nämlich solche für langsame, mittlere und rasche Entladung.

Bei dem Vergleich der Leistungsfähigkeit zweier verschieden konstruierter Zellen pflegt man gewöhnlich anzugeben, wie viel Meterkilogramm Arbeitsleistung 1 Kg Plattengewicht abgeben kann. Hierbei darf jedoch auch nicht die Angabe über die bei der Entladung angewendete Stromstärke fehlen, da es nach dem schon früher Gesagte durchaus nicht gleichgültig ist, mit welcher Stromstärke eine Zelle entladen wird.

Beim Entladen wird zunächst die in den Platten enthaltene Schwefelsäure gebunden; erfolgt dies zu schnell, so folgt die Diffusion nicht rasch genug nach, der Austausch der Säure kann nicht mehr proportional dem Verbrauch stattfinden, so daß die Stärke des Entladestromes herabsinkt und die abgegebene Energie event. geringer wird.

Normal pflegt man bei stationären Zellen 0,5 Amp. und maximal 0,9 Amp. auf 1 qdem Plattenoberfläche zu entladen. Ausführliches über die Entladungsverhältnisse findet man im Kap. VI unter 5 und 6.

Die Angabe des Plattengewichts allein bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Accumulatoren genügt nicht, es muß das Gewicht des Bleigerüstes und der Füllmasse gesondert angegeben werden, da die Leistung außer von der Beschaffenheit nur noch vom Gewicht der Füllmasse abhängig ist. Man kann durch Vergrößerung der aktiven Masse und Verminderung des Bleigerüstgewichts, bei gleichbleibenden Plattengewicht bis zu $^1/_3$ mehr Energie aufspeichern und entnehmen, natürlich aber nur auf Kosten der Dauerhaftigkeit der Platten.

Es muß ferner angegeben werden, ob die Entladung ununterbrochen gleichmäßig oder mit Pausen erfolgte, welche etwa „Erholen" der Zellen gestatteten. Auch die Art und Weise, wie die Ladung erfolgte ist wichtig. Für praktischen Gebrauch kann nur die Entladung mit konstanter Stromstärke bis zu dem Punkte in Frage kommen, an welchem die Spannung um 10% unter die Anfangsspannung gesunken ist. Die nachfolgende Tabelle giebt eine Zusammenstellung aller derjenigen Zahlen, welche bei Untersuchungen wissenswert sind. Über Kapazität und Nutzeffekt findet man noch Näheres in Kap. VI, 1, 10 und 15.

Der innere Widerstand einer Zelle ist sehr gering, er beträgt ca. 0,003—0,005 Ohm. Nach Prof. v. Walthofen ist der innere Widerstand einer Tudorzelle

geladen 0,015 Ohm,
entladen 0,020 „

Nach Streckers Handbuch ist das Produkt aus innerem Widerstand

und Stromstärke etwa 0,10—0,15. woraus $w = \frac{0,15}{2}$, wo i die Gebrauchs-stromstärke bedeutet, so daß man hieraus den inneren Widerstand annähernd berechnen kann, s. auch Kap. VI, 9.

Tabelle für die Leistung einer Zelle.

Benennung der Leistungen		Mittlere Größen im allgemeinen	Praktisches Mittel	Maximum
Ladung.				
Spannung durchschnittlich	Volt	2,10	2,16	2,23
Stromdichte per kg in	Amp.	1,30	1,50	1,87
Per kg	A.-Std.	12,06	12,20	14,41
Verbrauchte Energie per kg	Kgm	9272	9894	12324
Entladung.				
Nutzbare mittlere Spannung	Volt	1,93	1,97	2,04
Stromdichte per kg	Amp.	1,56	1,63	2,06
Per kg	A.-Std.	10,12	11.12	13,48
Gewonnene Energie per kg	Kgm	7151	8004	9372
Nutzeffekt.				
Von der Kapazität pro 100	A.-Std.	83,91	91,14	93,54
„ „ Energie „ 100	Watt-Std.	77,13	80,89	84,91
Plattengewicht pro nutzbare P. S.	kg	37,75	33,75	28,80

Versuche mit Julien-Zellen, mittlere Werte aus 20 Messungen Anvers 1885. E. Hospitalier, Formulaire pratique.

Für genauere Untersuchungen fehlen in obigen Angaben noch folgende Daten:

Plattengröße, Anzahl der Platten,
Wirksame Oberfläche der Platten,
„ „ der aktiven Masse,
Gewicht einer Platte total,
„ der aktiven Masse einer Platte,
Stromstärke per qu dem Oberfläche.

Wie schon früher erwähnt, spielt die Schwefelsäure bei Störungen mitunter eine ganz eigentümliche Rolle. Herr Dr. Moscheles zu Berlin veröffentlicht hierüber in der Elektrotechnischen Rundschau Nr. 17 folgendes: Bei einer größeren Untersuchung lag mir unter andern auch ob, verschiedene Störungserscheinungen zu untersuchen, unter denen namentlich die Bleiabscheidungen auf den positiven Platten im Vordergrunde stehen. Da diese Störungen gerade jetzt eine gewisse Bedeutung erlangt

Digitized by Google

haben, so glaube ich, daß die im folgenden gegebene Erklärung der gedachten störenden Erscheinung für weitere Kreise Interesse haben dürfte, um auch andere Fachgenossen für diese Untersuchungen zu interessieren.

Vom chemischen Standpunkt kann ein Accumulator aufgefaßt werden als ein Element, in dem die einander gegenübergestellten Elektroden aus einem Element R und dessen höchster bereits labiler Verbindung mit einem anderen Elemente X bestehen und zwar derart, daß sich hierdurch eine gewisse chemische Energiedifferenz ergiebt, welche einige, aber auch nichts mehr als einige Anhaltspunkte für die Spannung des Accumulators bietet, da hier sekundäre Wirkungen mit in Frage kommen. Beide Elektroden befinden sich in einem Elektrolyten, welcher erstens eine möglichst stabile Verbindung vorstellt, oder ein Gemeng solcher Verbindungen von Elementen, die unter normalen Temperatur-, Druck- und Stromverhältnissen nur eine beschränkte Zahl von Verbindungsformen besitzen, und in denen zweitens das Elektrodenelement unlöslich ist, beziehungsweise unlösliche Verbindungen mit demselben bildet, was das gleiche sagt.

Demnach ist eine ideale Sekundärbatterie wie folgt zusammengesetzt:

$$RXn = \infty \ldots . [\Sigma E E^1 m = \text{konst}] \ldots . R.$$

Von diesem Standpunkt ausgehend, ist der Blei-Accumulator, welcher gegenwärtig in seinen verschiedenen Variationen der einzig angewendete ist, ein schwaches Beispiel zur Demonstration obiger Formel. Leider fehlt ihm noch einiges, wie wir aus einer Entwickelung der Formel des Blei-Accumulators ersehen können.

$$R = Pb \qquad E = S \text{ bezw. } E = O$$
$$X = O \qquad E^1 = O \quad „ \quad E^1 = H,$$

demnach

$$PbO_2 \ldots [SO_3 + OH_2] \ldots Pb.$$

n ist $= 2$ anstatt ∞.

PbO_2 ist keine absolut labile, sondern nahezu stabile Verbindungsform.

SO_3 und H_2O sind wiederum nicht stabil, sondern dem Strom gegenüber ungemein labil, und schließlich ist das Pb in Schwefelsäure mehr oder weniger löslich.

Wir sehen, von den Anforderungen, die wir an einen reellen Accumulator stellen, bleibt nicht viel übrig.

Man wird der oben aufgestellten Formel entgegenhalten können, daß man auch bei $n = 2$ einen guten Accumulator erzielen kann, wenn nur die chemische Energiedifferenz bedeutend groß ist; doch ist hierbei die Ökonomie zu berücksichtigen: denn je größer n ist, desto größer wird die erzielbare Maximalspanne in einer Zelle sein, oder mit anderen Worten: desto weniger Zellen werden zur Erzielung des gleichen Effekts genügen.

Digitized by Google

Wenden wir uns der Betrachtung des Elektrolyten zu, so finden wir, wie bereits gesagt, daß er keine absolut konstante Verbindung vorstellt. Schwefel giebt mit Sauerstoff eine ganz enorme Anzahl von Verbindungsstufen und in gleicher Weise bestehen für Wasserstoff und Sauerstoff mehrere Verbindungen. Bei der freiheitlichen, modernen Anschauung über die Konstitution der uns umgebenden und mit Unrecht sogenannten „leblosen" Dinge werden wir uns zugestehen, daß bei dem geringsten Anstoß, den die physikalischen, oder chemischen Moleküle, oder unsere heutigen Atome erleiden, sich sofort auf dem chemischen Theater ein verblüffender Scenerienwechsel entwickeln muß. Die Atome schwirren sofort durcheinander und die Kräfte, mit denen sie begabt sind, geben zu den scheinbar unmöglichsten Kombinationen Veranlassung. Hören die veränderten Verhältnisse auf, so bleiben unseren rohen Beobachtungswerkzeugen in den seltensten Fällen hinreichende Anhaltspunkte zurück, oder besser gesagt, sind unsere Erfahrungen heute noch zu mangelhaft, um die veränderten Konstitutionsverhältnisse zu fixieren, die thatsächlich stattgefunden haben.

Die Schwefelsäure im Accumulatoren, welche einmal durch einen elektrischen Strom beeinflußt wurde, ist nicht mehr die alte, der ursprüngliche Gleichgewichtszustand ist in einem modernen Accumulator nie wieder zu erreichen. Jeder, der mit Accumulatoren gearbeitet hat, wird dies übrigens schon bemerkt haben; und das ist ja eine alte Praxis, daß man die beim Formieren der Platten angewendete Säure niemals später für den Betrieb auch verwendet.

Eine Beobachtung, die neuerer Zeit das Interesse der Accumulatorentechniker auf sich lenkt, ist die von Traube, welcher sich mit dem Studium elektrolysierter Schwefelsäure beschäftigt — Arbeiten, welche Berthelot, Mendelejew und Richard begonnen haben.

Bisher galt als höchste Oxydationsstufe des Schwefels das Schwefeltrioxyd SO_3. Es war daher bloß die Annahme berechtigt, welche die Bildung aller Unterabteilungen des Schwefels mit dem Sauerstoff bis zum S herab unter Einwirkung des elektrischen Stromes im Accumulator gestattet, und ist dies auch durch Beobachtungen bestätigt. Traube fand nun als neue Oxydationsstufe des Schwefels das Schwefeltetraoxyd SO_4. Wenn nun auch die Bildungsverhältnisse, bei denen er seine Substanz gewonnen, gegen die Annahme der Bildung von SO_4 im Accumulator sprechen, so muß konsequenter- und liberalerweise angenommen werden, daß sich trotzdem diese Körper, wenn auch nur intermediär und dieses wahrscheinlich infolge des Vorhandenseins von Bleisuperoxyd, wie später auseinandergesetzt wird, bildet. Zum besseren Verständnis, inwiefern das SO_4

Digitized by Google

für den Accumulatorenfabrikanten Interesse bietet, mögen nun die Angaben der einzelnen Autoren in Kürze angeführt werden.

Berthelot fand, daß bei der Einwirkung eines starken elektrischen Stromes auf ein Gemenge von SO_4 und O sich neben SO_3 noch ein Körper von der Zusammensetzung S_2O_7 bildet.

Derselbe stellt nach ihm eine ölige Flüssigkeit vor, welche bei 0° C. krystallinisch erstarrt und beim Erwärmen unter Entwickelung von Sauerstoff Schwefelsäure giebt:

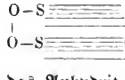
$$S_2O_7 = 2SO_3 + O.$$

Mit Wasserstoffsuperoxyd entsteht gleichfalls Schwefelsäure und Sauerstoff:

$$H_2O_2 + S_2O_7 = 2H_2SO_4 + O.$$

Der Körper ist in Schwefelsäure unzersetzt löslich, und es konnte durch Berthelot beim Elektrolysieren konzentrierter Schwefelsäure eine ähnliche Lösung erhalten werden. Bei Fortsetzung seiner Versuche fand Berthelot, daß beim Elektrolysieren einer Schwefelsäure mit 10 Mol. Wasser sich im Liter 88—123 gr genannter Verbindung bilden.

Mendelejew betrachtet den Körper in Lösung als eine teilweise oxydierte dihydrische Schwefelsäure folgender Formel:



und demzufolge S_2O_7 als das Anhydrit derselben

Nun nimmt Traube diese Versuche wieder auf und findet, daß der Körper Berthelots: S_2O_7 bloß eine Lösung eines Körpers von der Zusammensetzung SO_4 in SO_3 sein kann und giebt diesem SO_4 die Formel

es ist demnach ein Sulfurylhyperoxyd. Er weist nach, daß dieses SO_4 ein absolut indifferenter Körper ist von sehr labiler Konstitution, und beweist dies, indem er elektrolysierte Schwefelsäure in geeigneter Weise verdünnt und neutralisiert. Diese neutrale Lösung zeigt nun nach dem Kochen saure Reaktion, die sich nur erklärt durch die Annahme, daß die Schwefelsäure beim Elektrolysieren SO_4haltig wurde, welches sich beim Kochen der neutralen Lösung unter Abgabe von Sauerstoff und Bildung von Schwefelsäure zersetzte.

Digitized by Google

$$SO_4 = SO_3 + O.$$

Unter der Annahme, daß SO_4 ein Hyperoxyd ist, muß dasselbe mit den anderen bereits gekannten Hyperoxyden die gleichen Eigenschaften teilen, d. h. durch Einwirkung zweier Hyperoxyde aufeinander inaktiven Sauerstoff zu liefern. Dieses Auftreten von inaktivem Sauerstoff ist ganz außerordentlich bemerkenswert bezüglich der Übertragung dieses Vorganges auf das Beispiel des Blei-Accumulators.

Thatsächlich gelang es, durch Einwirkung elektrolysierter Schwefelsäure auf Silberhyperoxyd Manganhyperoxydhydrat und Bleihyperoxyd die Bildung der betreffenden Sulfate unter Entwickelung von Sauerstoff zu beobachten zufolge folgender Formel:

$$Pb O_2 + SO_4 = Pb SO_4 + O_2.$$

Wenden wir dies nun auf den Accumulator an, indem wir sekundär die Bildung von SO_4 annehmen.

1. Phase:

$$Pb O_2 + 2 H_2 SO_4 + Pb =$$
$$Pb O_2 + H_4 \text{ (nasc.)} + 2 SO_3 + O_2 \text{ (nasc.)} + Pb =$$
$$Pb + 2 H_2 O + 2 SO_4 + Pb.$$

2. Phase:

$$2 Pb O_2 + 2 SO_4 =$$
$$2 Pb SO_4 + 2 O_2 \text{ (inaktiv)}.$$

Summe:

$$3 Pb O_2 + 2 H_2 SO_4 + Pb =$$
$$Pb + 2 Pb SO_4 + 2 O_2 \text{ (inaktiv)} + 2 H_2 O + Pb$$

das heißt: Es muß unter geeigneten Verhältnissen zuweilen im Accumulator vorkommen, daß derselbe beim wiederholten Laden und Entladen eine Unwirksamkeit erleidet, welche einhergeht mit einer Abscheidung von Blei und Bleisulfat auf der Superoxydplatte unter Entwickelung inaktiven Sauerstoffs. Dieser Vorgang ist teilweise auch thatsächlich schon beobachtet worden.

Es ist nun von eminenter Wichtigkeit, nachzusehen, ob in diesen Fällen diese Störungen auf die intermediäre Bildung von SO_4 zurückzuführen sind, und wenn dies der Fall ist, so wären die diesen Bildungsvorgang begünstigenden Bedingungen festzustellen und hieraus ableitend der Modus ausfindig zu machen, um diese Bildungsbedingungen zu reduzieren, oder gar zu vermeiden. So ist es thatsächlich vorgekommen, daß bei einer Accumulatorenanlage, die in Spandau bei einer königlichen Behörde von der Aktiengesellschaft zu Hagen ausgeführt war, trotz aller Sorgfalt in der Behandlung der Zellen schon nach wenigen Monaten die Kapazität bis auf etwa 25 % gesunken war. Die Fabrik gab sich alle Mühe, die

Digitized by Google

gesunkene Kapazität wieder herzustellen, jedoch vergeblich; und so ist es Thatsache, daß an gedachtem Platze die Batterien dreimal in kurzer Zeit hintereinander vollständig erneuert werden mußten, ohne daß man eine greifbare Ursache für den immer wieder auftretenden Mangel finden konnte. Auch in der Centrale zu Barmen mußte wiederholt ein großer Teil der Zellen resp. Platten gewechselt werden. Auch hierbei scheinen noch nicht genügend bekannte chemische Vorgänge eine Rolle gespielt zu haben. In allen beiden Fällen waren die Platten in ihren Konstruktionsverhältnissen durchaus nicht verändert worden, sondern hauptsächlich lag der Effekt in der bedeutend verminderten Kapazität. Von den Gegnern der Accumulatoren wird neuerdings behauptet, daß der Nutzeffekt der meisten Batterien in den Elektrizitätswerken nicht mehr als 60% und darunter betrage. Auch dieses Herabgehen des Nutzeffektes muß man wohl teilweise auf noch nicht genügend bekannte chemische Vorgänge setzen. Ich führe diese Umstände hier absichtlich auf, nicht etwa um den einzelnen Accumulatorenfabrikanten etwas Unangenehmes sagen zu wollen, sondern in dem Bemühen, in einem den Accumulatoren ausschließlich gewidmeten Buche die ungeschminkte Wahrheit zu sagen, so daß niemand später wird behaupten können, der Verfasser habe aus Vorliebe für sein Fach einzelne Übelstände beschönigen wollen, und andererseits mögen die hier angeführten Thatsachen bei vorkommenden Übelständen dazu dienen, daß diejenigen, welche Accumulatoren verwenden, auf das sorgfältigste alle und jede Vorgänge beobachten und nicht lediglich den Fabrikanten Schuld geben, wenn irgend etwas nicht so ist, wie man es gern wohl haben möchte.

Aus den schon an anderer Stelle erwähnten Untersuchungen der Herren Farbaky und Scheuek geht hervor, wie dies auch schon gelegentlich erwähnt worden ist, daß, wenn man eine Zelle mit mäßiger Stromstärke ohne Gasentwickelung ladet, z. B. mit 1 Amp. per Kg Platten, man bis zu 95% des Ladungsstromes wiedergewinnt. Die Genannten haben ferner ermittelt, welche Wirkung die Schwefelsäure H_2SO_4 ausübt. Die Versuche haben gezeigt, daß 1 A.-Std. beim Laden 2,23 gr H_2SO_4 frei macht, während beim Entladen 2,25 gr H_2SO_4 gebunden werden. Das Mittel dieser beiden Zahlen ist 2,24, welches man das elektrochemische Äquivalent der Schwefelsäure H_2SO_4 genannt hat. Mit dieser Verhältniszahl 2,24 lassen sich für die Anfertigung, Behandlung und Verwendung der Accumulatoren praktische Berechnungen anstellen.

Die Selbstentladung.

Soll ein Accumulator die berechnete größte Menge an Energie abgeben, so ist es unerläßlich, daß derselbe vollkommen formiert ist. Die

Selbstentladung solcher Zellen findet dann nur sehr langsam statt und kann sich im Ruhezustande auf viele Monate ausdehnen.

Um die Zeitdauer der Selbstentladung eines vollkommen formierten und bis zur beginnenden Gasentwickelung geladenen Accumulators zu bestimmen, wurden von den oben genannten Herren eingehende Dauerversuche gemacht. Die verdünnte Schwefelsäure enthielt auf 100 kbcm 26,9 gr H_2SO_4. Nach beendeter Entladung enthielt die Säure 38,4 gr Säure in 100 kbcm Hydrosulfat. Hieraus berechnet sich nach der oben angegebenen Zahl das beim Laden freigemachte Hydrosulfat auf 466,8 gr, woraus sich die aufgespeicherten A.-Std. ergeben, nämlich $\frac{466,8}{2,24} = 208$ A.-Std. Die Versuchszellen wurden nach genügender Ladung der Ruhe überlassen und anfangs alle 5, später alle 10 Tage auf ihren Säuregehalt untersucht. Es ergab sich, daß in 55 Tagen durch Selbstentladung 4,45 gr Säure in 100 kbcm gebunden waren. In dieser Zeit waren von der aufgenommenen Energie 37,1 % durch Selbstentladung verloren gegangen. Die Versuche ergaben, daß die Abnahme des Säuregehalts nicht gleichmäßig, sondern in stets abnehmender Zahl erfolgt, so daß die gänzliche Entladung des Accumulators in der Ruhe in etwa 150—170 Tagen erfolgt wäre.

XII. Die Anwendung der Accumulatoren im Großbetriebe von Straßenbahnen.

Wie schon an andern Stellen und auch im Schluß gesagt worden ist, ist man heute allgemein der Ansicht, daß der Straßenbahnbetrieb in verkehrsreichen Städten in der Zukunft bei dem rapiden Ansteigen des Verkehrs nur mit Hilfe der Accumulatoren denkbar ist. Die Kraft der Pferde reicht bei noch stärkerer Entwickelung des Verkehrs nicht allein nicht aus, sondern sie ist auch teuer und ihre Verwendung artet mitunter auch zur Tierquälerei aus. Andere Motoren, die man ja vielfach verwendet hat, besonders Dampflokomotiven, haben sich im allgemeinen in sehr frequenten Straßen bis jetzt überhaupt keinen Eingang verschaffen können. Ihre Anwendung ist immer auf die Vorortstrecken und weniger verkehrsreichen Plätze beschränkt geblieben. Auch ist eine Dampflokomotive durchaus nicht ökonomisch.*) Andere Motoren, wie komprimierte Luft- und komprimierte Gas-

*) Siehe hierüber die Elektrische Kraftübertragung. 3. Auflage. Von J. Zacharias, A. Hartleben, Wien.

Digitized by Google

petroleum-Motoren, haben sich noch viel weniger brauchbar erwiesen, und so geht denn das ganze Bestreben dahin, die Accumulatoren dem Straßenbahnbetriebe nutzbar zu machen. Was die Einrichtung der Straßenbahnwagen, die Elektromotoren, die Umschalter und sonstige Zubehörteile anbetrifft, so ist deren Konstruktion längst zu einem gewissen Abschluß gediehen, und man kann sich ihrer mit voller Zuversicht bedienen. Ebenso ist durch längere jahrelange Versuche die Brauchbarkeit und Nützlichkeit der Accumulatoren an sich für diesen Betrieb auch bereits nachgewiesen worden; nur das eine, was hier noch mangelhaft war, war eben die Haltbarkeit der positiven Platte. Auch diese hat man durch Vervollkommnung der Konstruktion und sonstige Fortschritte in der Herstellung endlich zu einer Vollkommenheit gebracht, daß man mit Vertrauen Dauerversuche von größerem Umfange zu machen im Begriff steht, und die nächste Zukunft wird uns gar bald darüber Gewißheit verschaffen, ob wir nunmehr eine genügende Haltbarkeit der positiven Platte erreicht haben, um mit einer gewissen Ökonomie die Accumulatoren für den Straßenbahnbetrieb verwenden zu können. Ganz abgesehen von allen andern Vorzügen, welche wir ja im Laufe dieser Arbeit bereits betrachtet haben, mögen hier noch einige weitere folgen. Für plötzlich eintretenden Bedarf, resp. für plötzlich nötig werdende Vermehrung von Wagen auf einer oder mehreren Strecken, mußte man bisher Reservepferde halten, oder auf eine zeitweilige Vermehrung der Betriebsmittel überhaupt verzichten. Das Halten von Reservepferden ist ja doch eine kostspielige Sache. Eine Reserve-Accumulatorbatterie bedarf sehr wenig Wartung und Aufsicht. Es genügt, wenn dieselbe hin und wieder entladen und geladen wird, und sie verzehrt im übrigen durch unbenütztes Dastehen nur Zinsen, während ein Pferd dauernd Futter kostet und Wartung erheischt. Ein weiterer Vorzug der Accumulatoren ist das geringe Raumbedürfnis. Auf dem Platze, auf dem ein Pferd seinen Stand findet, kann man bei geeigneter Anordnung mehrere Batterien unterbringen. Auch ist nicht ausgeschlossen, die Batterien in mehreren Etagen übereinander in den Depots unterzubringen, während man für die Pferdeställe hauptsächlich auf ein Unterbringen auf ebener Erde angewiesen ist. Man kann also unter Anwendung von Schiebebahnen, Aufzügen, Krahnen ꝛc. auf einer gegebenen Grundfläche eine immense Kraft an Accumulatorenbatterien unterbringen, deren Größe mit dem von Pferden beanspruchten Raum in gar keinem Verhältnis steht. Ein weiterer Vorteil ist die Aufstellung von Vorspann oder Reserven an einzelnen Plätzen, oder in Störungen, resp. bei Eintreten von Schneefällen. Die Pferde stellt man meist unter freiem Himmel auf, und sie leiden dabei nicht unerheblich, während man Reservebatterien oder elektrische

Reservelokomotiven unbeschadet ihrer Dauerhaftigkeit beliebig im Freien placieren kann. Die Abnützung des Straßenpflasters, die fortwährende Verunreinigung der Straßen durch den Pferdedung und die dabei bedingte fortwährende Straßenreinigung spielen nicht minder eine bedeutsame Rolle. Die Rinnen der versenkten Straßenbahnschienen werden nicht allein durch den Straßenschmutz, sondern vor allen Dingen auch durch den Pferdedung ausgefüllt, und die Reinigung derselben erfordert infolgedessen viel mehr Zeit und Kräfte als beim Betriebe mit Motoren. Alle diese Umstände wirken mit zu Gunsten des Accumulatorenbetriebes. Ein weiterer Umstand, an den viele gewiß überhaupt noch nicht gedacht haben, ist der folgende: Wenn es sich um die Einrichtung des elektrischen Betriebes — und ein solcher kann ja überhaupt nur für große Städte in Frage kommen — eines großen Komplexes von Straßen handelt, wenn es sich weiter darum handelt, die Wagen, welche von den Vororten in die Stadt kommen, auf den Straßen der Stadt ohne Zeitverlust und ohne Umsteigen weiter zu befördern, wenn es sich ferner darum handelt, die Wagen entweder auf einer Hochbahn oder einer versenkten Untergrundbahn weiter zu befördern, so wird man genötigt sein, den elektrischen Strom den in den Straßenbahnwagen oder Lokomotiven befindlichen Elektromotoren je nach den Umständen in der verschiedensten Weise zuzuführen. Auf den außen gelegenen Strecken, welche die Vororte mit der Großstadt verbinden, wird man naturgemäß die direkte Stromzuführung mit einer blanken oder oberirdischen Leitung bewirken. In den Vororten resp. in der Großstadt selbst wird man auf Strecken, welche neu errichtet werden, eventuell die unterirdische direkte Stromzuführung wählen, während man schon vorhandene Geleise in den Straßen, besonders in sehr frequenten Straßen, unter allen Umständen nur mit Hilfe von Accumulatoren wird betreiben können. Man wird also genötigt sein, eine dreifache Stromzuführung in solchen Fällen zu wählen. Wenn auch die hier gedachten Fälle bis jetzt noch nicht eingetreten und dahin gehende Konstruktionen bis heute noch nicht bekannt geworden sind, so haben sie sich doch dem Verfasser in seiner praktischen mehrfachen Thätigkeit bereits aufgedrungen, und sollten dieselben daher hier nicht unerwähnt bleiben. Bei der für die Stadt Berlin in Aussicht genommenen Bahn*), werden die angedeuteten Verhältnisse

*) Siehe die Broschüre von F. Immeckenberg, Kommissionsverlag. Carl Fränkel, Berlin W., Werderstr. 3: „Das Unternehmen der Berliner Tiefbahn mit Anschlüssen an Straßenbahnen, und Fortsetzung als Hoch- und Straßeneisenbahnen". Dasselbe enthält zahlreiche Zeichnungen und Pläne, sowie Übersichtskarte der Bahnanlagen. Bei dem Interesse, welches sich in der Hauptstadt Deutschlands und über die Grenzen des Landes hinaus diesem auf dem Gebiete der Verkehrsbahnen eine vollständige Um-

Digitized by Google

unter allen Umständen eintreten, und wird es hier darauf ankommen, eine möglichst vorteilhafte Kombination dieser drei Eventualitäten durchzuführen. Eins steht fest, die von den Vororten nach der Stadt verkehrenden Wagen, welche in der Stadt durch Accumulatoren weiter befördert werden sollen, können nicht schon von vornweg die Accumulatoren mit sich führen, sondern man wird erst an gegebenen Orten die Accumulatoren lediglich in einem kleinen Wagen anhängen, oder besondere Lokomotiven, die einen Motor und die Accumulatoren enthalten, vorspannen, da das eine große Kraftvergeudung mit sich brächte, wenn man die tote Last schon auf den Straßen außerhalb der Stadt mit sich führen wollte. Des weiteren wird es besonderer Konstruktionen bedürfen, die Accumulatoren in der vorteilhaftesten Weise in den Depots sowohl, als in den Motorwagen unterzubringen und die Anordnungen derartig zu treffen, daß ein möglichst schneller Wechsel der entladenen gegen geladene Zellen stattfinden kann. Die bisher für diesen Zweck angewendeten Schiebebahnen werden noch nicht das denkbar Vollkommenste in dieser Beziehung darstellen, sondern man wird in der Praxis zu weit besseren und geeigneteren Anordnungen gelangen. Eine andere Schwierigkeit liegt noch darin, daß man, wie z. B. in Berlin bei Schneewetter, einen Teil der Wagen aus den Schienen hebt und zur Seite stellt, oder auch bei Verkehrsstörungen, die z. B. durch einen zusammengebrochenen Lastwagen auf den Geleisen gebildet werden, das Hindernis auf der Straße neben der Schiene umfährt und hinter demselben wieder in das Geleise einlenkt. Auch für diese Fälle wird man noch besondere Vorkehrungen treffen müssen, da die Last des Accumulatorenwagens zirka zwei Tons größer als die eines gewöhnlichen Pferdebahnwagens ist. Die Praxis wird auch hier in dieser Beziehung der beste Lehrmeister sein. Je mehr man sich von den bisherigen Anordnungen und Gebräuchen im Pferdebahnbetriebe emanzipieren wird, und je mehr man es verstehen wird, den Eigentümlichkeiten des elektrischen Betriebes sich anzupassen, desto schneller und besser wird man gewisse Schwierigkeiten überwinden. Die Zeiten, daß die Pferdebahntechniker dem elektrischen Betriebe den Vorwurf machen, sie könnten mit Pferden alle diese Schwierigkeiten leichter überwinden, sind ja wohl nun endlich vorüber, und der elektrische Betrieb hat die Zeiten der Kindheit nach langem und hartem Kampfe endlich überwunden. Wer heute noch

wälzung hervorrufenden Unternehmen zuwendet, möchte ich noch besonders darauf hinweisen, daß der kombinierte, elektrische Betrieb, wie er hier in dreifacher Anwendung zum ersten Male geschildert ist, im Laufe dieses Jahres thatsächlich zur Ausführung kommen wird, da das Unternehmen nach jeder Richtung hin als durchaus gesichert erscheint.

Digitized by Google

dieser neuen Betriebsart dergleichen Vorwürfe macht, darf wohl nicht ernst genommen werden. Solchen Leuten ist überhaupt nicht zu helfen, mit ihnen ist die Sache überhaupt nicht zu diskutieren, und die fortschreitende Industrie wird über ihre starren Köpfe einfach hinweg gehen. Geradeso wie die elektrische Beleuchtung über die halsstarrigen Gastechniker ihren Weg genommen und sich je länger je mehr ausgebreitet hat, so daß heute dasselbe schon eine sehr fühlbare Konkurrenz den Gasfabriken macht. Es sind noch kaum zehn Jahre her, daß mir der Präsident einer der größten Gasgesellschaften erklärte, er sei vollkommen ruhig über die Konkurrenz des elektrischen Lichtes, denn er hätte sich nunmehr überzeugt, daß das elektrische Licht auch Geld kostete und nicht umsonst zu erzeugen wäre. Leuten mit solch naiver Anschauung ist überhaupt nicht zu helfen, und sie werden die schweren Folgen derselben gar bald zu fühlen haben. In gleicher Weise wird es den Pferdebahngesellschaften ergehen, welche hartnäckig beim Alten festhalten und nicht gesonnen sind, einen neuen Betrieb einzuführen, der in der ersten Zeit ihnen natürlich nicht so schöne Dividenden abwirft, wie das bisherige Pferdebahnmonopol.

Die Aufspeicherung bei Wechselstrom.

Für die Aufspeicherung des elektrischen Stromes bei Wechselstromanlagen hat man die verschiedensten Vorschläge gemacht, da es bekanntlich nicht möglich ist, den Wechselstrom direkt zur Aufspeicherung zu benutzen. Ein für die Praxis in vieler Beziehung besonders wertvolles Verfahren hat Herr Franz Wilking zu Berlin eingeschlagen. Die Maschine, welche den elektrischen Strom erzeugt, treibt außer der Wechselstrommaschine noch eine Gleichstromdynamo, welche die über den Wechselstrombedarf hinausgehende Energie der Betriebsmaschine aufnimmt und im Accumulator aufspeichert. Das Prinzip, nach welchem hier die Vorteile der Aufspeicherung bei Verteilung des elektrischen Stromes benützt sind, beruht darauf, daß die während des Betriebes geladenen Accumulatoren nach Stillsetzen der Betriebsmaschine ihren Strom an die Gleichstromdynamo abgeben, diese als Elektromotor treiben, welcher wiederum die Wechselstrommaschine durch eine direkte Kuppelung in Bewegung setzt, so daß nach den Lampen zu stets Wechselstrom gelangt, während der Überschuß an Energie in den Accumulatoren als Gleichstrom aufgespeichert wurde. Auf diese Weise ist es möglich, die Leistungsfähigkeit der Betriebsmaschine während aller Betriebsstunden im Jahre voll auszunützen. Auf diese Weise wird eine direkte Umwandlung des Wechselstromes in Gleichstrom und die damit verbundenen Übelstände vermieden und der Betrieb kann einfach und sicher durchgeführt werden. Bedingung ist natürlich, daß die Gleichstromdynamo so

Digitized by Google

gebaut ist, daß sie auch als Elektromotor mit Vorteil arbeiten kann, und dieses ist bekanntlich nicht ohne Weiteres der Fall. Es fragt sich nun, in welchen Fällen diese Anordnung mit Nutzen verwendbar ist.*)

Wo man wegen des geringen Bedarfs in späten Nachtstunden und am hellen Tage ungern eine größere Dampfmaschine im Betrieb erhält, ist es vorteilhaft bei Elektrizitätswerken, von dieser Anordnung Gebrauch zu machen.

Ein zweiter Fall ist gegeben bei einer Wasserkraft, welche für den maximalen Bedarf nicht ausreicht. Angenommen, daß eine Wasserkraft von nur 100 P. S. zur Verfügung steht, dagegen in den Abendstunden 2000 Lampen brennen würden, wenn man dieselben speisen könnte. In solchem Falle wird die Wasserkraft am Tage zum Füllen des Accumulators ausgenützt, welcher Abends gefüllt die Gleichstromdynamo als Motor speist und damit zur Unterstützung der ungenügenden Wasserkraft befähigt.

Der dritte Fall wäre derjenige eines Gleichstromelektrizitätswerkes, bei welchem an einer sehr entfernten Stelle noch Anschlüsse erwünscht sind, die Stromart dagegen gleichgültig oder nicht von großer Bedeutung ist. In solchem Falle brauchen auf die verlängerte Achse der Gleichstromdynamo nur einige Schleifringe zur Abnahme eines Mehrphasenwechselstromes aufgesetzt zu werden, welcher Wechselstrom, durch einen Transformator auf hohe Spannung gebracht, die großen Entfernungen ohne Schwierigkeit überwindet.

Fragen wir nun nach dem Nutzeffekt dieser Anordnung, so ergiebt sich gegenüber der Accumulierung bei Gleichstrom ein Mehrverlust, repräsentiert durch die Arbeit, welche die im Accumulator aufgespeicherte Stromenergie zum Antrieb des Rotationstransformations leisten muß. Dieser Verlust ist je nach der Konstruktion desselben (ob zwei getrennte elektrische Maschinen oder die beiden Wickelungen auf einem Anker vereinigt, oder an eine einzige Ankerwickelung der Kommutator für Gleichstrom und die Schleifringe für Wechselstrom angeschlossen sind) verschieden, überschreitet jedoch in keinem Falle 20%. In Ausdehnung dieses Verlustes wird man aber zweckmäßigerweise der Accumulierung bei Wechselstrom einen entsprechend geringeren Umfang geben, wie bei Gleichstrom.

Schluß.

Nachdem wir nunmehr Einrichtung, Verwendung und Betrieb der Accumulatoren kennen gelernt haben, bleibt nur noch übrig, einiges über deren Zukunft zu sagen. Es ist keine Frage, daß die Zukunft der Accu-

*) s. Elektrotechnische Zeitschrift 16./10. 1891. S. 545. Vortrag des Herrn Franz Wilking.

Digitized by Google

mulatoren nicht allein in der Aufspeicherung des elektrischen Stromes für stationäre Beleuchtungsanlagen zu suchen ist, sondern dieselben werden auch vor allen Dingen in kurzem eine große Rolle im Verkehr der Straßenbahnen spielen. Wenn man den ungeheuren Wagenverkehr in den Großstädten Europas und Amerikas beobachtet, wenn man sieht, wie die Fußgänger sich drängen und Mühe haben, schnell vorwärts zu kommen, dann muß man sich sagen, daß wir unter dem Zeichen des Verkehrs stehen. Je stärker der Andrang der Fußgänger, je mehr muß man bestrebt sein, diese Massen mit Straßenbahnwagen schneller zu befördern, um unsere engen Straßen vor zu großer Belastung zu bewahren. Dies ist jedoch nur möglich, wenn Wagen hinter Wagen einander folgen mit Zwischenräumen von wenigen Minuten. Es ist keine Frage, daß hierbei die Länge der Wagen eine große Rolle spielt. Es ist ferner auch keine Frage, daß der ungeheure Verkehr sich schneller und billiger durch mechanischen Betrieb als durch Pferde bewältigen läßt. Man wird dies in vielen Fällen dadurch am besten erreichen, daß man die Accumulatoren in die Wagen selbst stellt und dadurch diejenige Länge gewinnt, welche die Pferde sonst einnehmen. Was die Verteilung der Elektrizität in größeren Städten für die Beleuchtung betrifft, so ist der Kampf zwischen den einzelnen Systemen noch nicht beendet und zwar deshalb nicht, weil die Vorteile, welche die einzelnen Systeme gewähren, zur Zeit entweder noch nicht ganz geklärt sind, oder weil sie zur Zeit ziemlich gleich sind. Nur das eine steht fest, daß man bei großen Entfernungen hoch gespannte Ströme anwenden muß, um den großen Energieverlust in den teuren Leitungen von den Elektrizitätswerken aus nach den verschiedenen Verbrauchsstellen zu vermeiden. Ob man hierzu Wechselstrom, Mehrphasenstrom oder Gleichstrom anwendet, wird sich nur je nach den Verhältnissen entscheiden lassen. Viele sind geneigt, zufolge der günstigen Ergebnisse der Kraftübertragung von Lauffen nach Frankfurt a. M., dem Mehrphasenstrom die Zukunft zuzuschreiben. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß man auch dieselben Erfolge mit Wechselstrom erreicht. Die nächste Zukunft wird zeigen, ob die neusten Fortschritte in der Gleichstromtechnik nicht auch hierzu einen Weg bieten, wie derselbe z. B. durch Herrn W. Lahmeyer mit seinem System der Gleichstromumformer eingeschlagen ist. Der Mehrphasenstrom bietet zwar in Bezug auf die Konstruktion der Elektromotoren und der Leitungsquerschnitte gewisse Vorteile, erfordert aber 3 Leitungen; der Wechselstrom gebraucht nur 2 Leitungen, doch sind die Elektromotoren für denselben noch nicht allen Ansprüchen gerecht geworden, da ein Wechselstrommotor beim Angehen mit voller Belastung gewisse Schwierigkeiten bietet. Sollte es gelingen, dieselben zu überwinden, so wird er in manchen Fällen über den

Digitized by Google

Mehrphasenstrom den Sieg davontragen, da dieser wieder in der Beleuchtung gewisse Schwierigkeiten macht. Das eine steht fest, daß man in Zukunft Gleichstromanlagen nur in Verbindung mit Accumulatoren einrichten wird, da dieselben so mannigfache Vorteile gegenüber dem reinen Maschinenbetrieb bieten. Der Gleichstrom ist in dieser Beziehung im Vorteil gegen den Wechselstrom, da er durch Mitbenutzung von Accumulatoren die Überlastung zur Zeit des höchsten Lichtbedürfnisses vermeidet und am Tage durch Laden der Batterien eine volle Benutzung, Belastung und Ausnutzung der Maschinen und somit den vorteilhaftesten Betrieb gestattet. Ein System, welches alles leistet, ist nicht denkbar. Man wird zwischen den vorhandenen Systemen untereinander zu wählen, oder dieselben miteinander zu kombinieren haben. Nur das eine wissen wir, die Accumulatoren sind ein unabweisliches Bedürfnis geworden, ihnen gehört die Zukunft. Die Erfindungen wachsen, entstehen mit dem Bedürfnisse der Zeit, sie sind nicht ein Produkt einzelner begabter Männer allein, möge daher jeder der sich berufen fühlt, mitzuarbeiten im edlen Wettstreit, die folgenden Schlußworte beherzigen:

„Our duty is plainly not to throw ourselves across the track, not to block improvement, not to sit still till we are stone; but to watch the uprise of successive mornings and to conspire with the new works of new days.*)

*) Electrical Review 24./12. 1886.

Anhang.

Maße und Gewichte.

Die meisten Kulturstaaten mit wenigen Ausnahmen benützen heute das metrische System, das wir als allgemein bekannt voraussetzen, für diejenigen jedoch, welche die im vorliegenden Werke vorkommenden englischen und nordamerikanischen Maße und Gewichte genauer nach metrischem Maße zu vergleichen wünschen, mögen folgende Angaben dienen.

Längenmaße.

1 Yard = 3 Feet . . . . . = 0,9143835 m
1 Fathom = 2 Yards = 6 Feet = 72 inches . = 1,828767 m
1 Statute mile = 8 Furlongs = 320 rods (pole, perch) = 800 Fathoms = 1760 Yards = 5280 Feet . . . . . = 1609,3149 m
1 Furlong = 40 rods . . . . . = 201,1644 m
1 Inch . . . . . = 0,0253995 m
1 nautical mile, knot = $^1/_{60}$ Äquatorgrad = $^1/_3$ League = 6082,66 Feet . . . . = 1,852 km

Flächenmaße.

1 Square Yard = 9 sq. feet . . . . . = 0,836 qm
1 „ Foot . . . . . = 0,0929 qm
1 Acre = 4 Roods = 160 sq. Rods . . . = 40,467 are

Körper- und Hohlmaße.

1 Cub. Yard = 27 cb feet (à 1728 cb inch) . = 0,7645 cbm
1 Register Ton = 100 cb Feet . . . . . = 2,8316 cbm
1 Gallon = 2 Pottles = 4 Quarts = 8 Pints = 32 Gills . . . . . = 4,5436 lit.
1 Fluid Ounce = $^1/_{20}$ Pint.

Digitized by Google

Handelsgewichte.

1 Pound (lb.) Avoirdupois = 16 ounces (oz.)
= 256 Drams = 7000 Troy grains . . = 453,598 Gramm
(Früher teilte man noch 1 Dram à 3 Scrupels à 10 Grains.)
1 Hundredweight (cwt.) = 80 pounds . . . = 50,802377 kg
1 Ton = 20 cwt. = 80 Quarters = 2240 lbs. = 1016,06 kg.

Münz- und Medizinal- (Troy-) Gewicht.

1 lb. troy = 12 ounces = 5760 grains . . = 373,24195 Gramm
1 ounce (oz.) = 20 Pennyweight (dwt.) á 24 grains à 20 Mites
à 24 Doits à 20 Periots à 24 Blanks.
1 troy grain . . . . . = 0,06479895Gramm.

Apotheker teilen ein in:

1 troy pound = 12 ounces à 8 Drams à 3 Scrupel à 20 Grains (Minims.)

Vergleichszahlen für verschiedene Größen.

1	foot pound	=	0,138 kgm
7,233	„ „	=	1,0 „
1	squ. foot	=	0,0929 qm
1	cubic foot	=	0,092 kbm
1	„ inche	=	16,387 kbcm
1	squ. inch	=	6,5 qcm
1/8	inch	=	3,2 mm
1/64	„	=	0,4 mm.
1	P. S.	=	75 kgm p. Sec.
		=	0,9863 british H. P.
1	H P. british	=	1,01385 P. S.
		=	33000 ft. lbs p. Min.
		=	550 ft. lbs p. Sec.

Digitized by Google

Alphabetisches Inhaltsverzeichnis.

Seite.

Abblättern 85. 35
Accumulatoren 31
von Correns 40
„ Epstein 61
„ E. P. S. Company 35
„ Faure 83. 34
„ Hagen 42
„ Heyl 65
„ Huber 39
„ Khotinsky 42
„ Kirchhoff 31
„ Main 68
„ Metzger 75
„ Planté 89. 13. 35
„ Ch. Pollak 71
„ Reckenzaun 59
„ Schöller und Jahr 56
„ Sellon 38
„ Somzée 37
„ Swan 41
„ Tudor 51
Analogie zw. hydr. u. elektr. Accumulatoren 158
Anwendung der Accumulatoren 119—196
für Ärzte 184
„ Beleuchtung 119
„ Boote 179
„ Telegraphie 185
„ Wagen 167
Anwendung der Säure 110
Aräometer 112
Aufbau der Zellen 227
Aufstellung der Zellen 216
Ausdehnung der Platten 85
Ausschalter 207

Befestigung der Platten in den Zellen 75
Behandlung der Accumulatoren 232. 219

Seite.

Behandlung der Platten . 220. 159. 85
„ „ Säure 110
„ „ Verbindungen . . 228
Berechnung einer Accumulatorenanlage 140. 145
Berechnung für ein Elektrizitätswerk 133
Betrieb der Accumulatoren . . 146. 216
„ von Booten 179
„ „ Wagen 167. 240
Betriebsresultate 121. 171. 177
Bleilöten 225

Dichte der Säure 161. 164. 221

Einrichtung einer Accumulatorenfabrik 88
Einschalten der Zellen 203
Elektrolin 9
Elektrolyt 221. 228
Entladung 107. 152. 239
Ergebnisse des Betriebes . . 121—177

Farbe der Platten 221
Formieren der Platten 23. 89

Geraderichten der Platten 219
Geschichtliche Entwickelung . . XII. 1
Glätte 86
Güteverhältnis 130

Haltbarkeit der Platten 159
Herausfallen der Masse 36
Herstellung der Platten 83

Isolierung der Platten 75
„ „ Zellen 219

Kapazität 95
Klemmenverbindungen 81
Konzentration der Säure 161

Digitized by Google

	Seite.
Konstruktion der Platten	31
„ „ Schaltapparate	207
„ „ Zellen	75
Krümmen der Platten	159. 231
Kurven	
Entladungs-	108
Ladungs-	149
Laden der Zellen	149
„ mit Wechselstrom	244
Leistung der Zellen	116
Leitungsquerschnitte	228
Lötapparate	226
Löten	225
Mennige	86
Motorbetrieb	167. 179. 240
Nebenschlußdynamos	148
Nutzeffekt der Anlagen	123
„ „ Zellen	92. 106
Platten älterer Konstruktion	31
„ neuerer „	39
„ mit Masse	34—60
„ ohne „	61—65
Reinigen der Platten	232. 230
Regulierung durch Accumulatoren	154
Säure Beschaffenheit	220
„ Dichte	161
„ Nachfüllen	232. 163
„ Verdünnen	162
Säuremesser	221. 228
Schaltung der Accumulatoren	196
Spannung beim Entladen	100
„ „ Laden	148. 152
Spannung der Zellen	99
Straßenbahnbetrieb	167. 240
Stromstärke beim Entladen	100
„ „ Laden	99
Tabelle für Mischen von Schwefelsäure	162. 163
Telegraphenbetrieb mit Accumulatoren	185
Temperatur frisch gemischter Schwefelsäure	161
Transportable Zellen	78. 81. 91. 184
Umschalter	207
Untersuchung der Zellen im Betriebe	231. 223
„ „ „ auf Leistung	232. 229
Verluste in Accumulatoren	93
Verschluß der Zellen	222
Wachsen der Spannung beim Laden	148
Widerstand der (aktiven) Masse	29
„ „ Zellen	104
„ des Schnees	174
„ „ Staubes	172
Wirkung der Gegenspannung	152. 147
Zellenherstellung	75
Zellenisolierung bei stationären Batterien	219
Zellenisolierung bei transportablen Batterien	79
Zellenmaterial	78
Zellenschalter automatisch	211
„ doppelt	215
„ einfach	214
Zusatzdynamo	201

Druckfehler-Berichtigung.

S. 59 Zeile 6 muß es heißen $J = \frac{E}{W}$

Digitized by Google

Druck von August Pries in Leipzig.

Digitized by Google